



National Library  
of Canada

Bibliothèque nationale  
du Canada

Canadian Theses Service

Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada  
K1A 0N4

## NOTICE

The quality of this microform is heavily dependent upon the quality of the original thesis submitted for microfilming. Every effort has been made to ensure the highest quality of reproduction possible.

If pages are missing, contact the university which granted the degree.

Some pages may have indistinct print especially if the original pages were typed with a poor typewriter ribbon or if the university sent us an inferior photocopy.

Reproduction in full or in part of this microform is governed by the Canadian Copyright Act, R.S.C. 1970, c. C-30, and subsequent amendments.

## AVIS

La qualité de cette microforme dépend grandement de la qualité de la thèse soumise au microfilmage. Nous avons tout fait pour assurer une qualité supérieure de reproduction.

S'il manque des pages, veuillez communiquer avec l'université qui a conféré le grade.

La qualité d'impression de certaines pages peut laisser à désirer, surtout si les pages originales ont été dactylographiées à l'aide d'un ruban usé ou si l'université nous a fait parvenir une photocopie de qualité inférieure.

La reproduction, même partielle, de cette microforme est soumise à la Loi canadienne sur le droit d'auteur, SRC 1970, c. C-30, et ses amendements subséquents.

**Méthodes de détermination des besoins spatiaux dans les aéroports et de la qualité de service  
offert aux passagers**

**Nathalie Martel**

**Un mémoire de thèse  
pour  
Le département de Génie Civil**

**Présenté selon les exigences partielles  
du programme de maîtrise en sciences appliquées  
de l'Université Concordia  
Montréal, Québec, Canada**

**Août 1991**

**© Nathalie Martel, 1991**



National Library  
of Canada

Bibliothèque nationale  
du Canada

Canadian Theses Service    Service des thèses canadiennes

Ottawa, Canada  
K1A 0N4

The author has granted an irrevocable non-exclusive licence allowing the National Library of Canada to reproduce, loan, distribute or sell copies of his/her thesis by any means and in any form or format, making this thesis available to interested persons.

The author retains ownership of the copyright in his/her thesis. Neither the thesis nor substantial extracts from it may be printed or otherwise reproduced without his/her permission.

L'auteur a accordé une licence irrévocable et non exclusive permettant à la Bibliothèque nationale du Canada de reproduire, prêter, distribuer ou vendre des copies de sa thèse de quelque manière et sous quelque forme que ce soit pour mettre des exemplaires de cette thèse à la disposition des personnes intéressées.

L'auteur conserve la propriété du droit d'auteur qui protège sa thèse. Ni la thèse ni des extraits substantiels de celle-ci ne doivent être imprimés ou autrement reproduits sans son autorisation.

ISBN 0-315-68743-6

Canada

## SOMMAIRE

### Méthodes de détermination des besoins spatiaux dans les aéroports et de la qualité de service offert aux passagers

Nathalie Martel

De nos jours, plusieurs aéroports doivent affronter des problèmes de surpopulation. Que l'on considère le côté ville, le côté air ou l'aéroport, les solutions ne sont pas évidentes. Les projets d'expansion ou de construction de nouvelles installations sont souvent contraints au manque d'espace ou aux préoccupations environnementales. Ainsi, afin de répondre adéquatement à la demande, une bonne gestion de la capacité est de rigueur.

À cet effet deux aspects sont traités. D'une part, les méthodes de détermination des espaces à l'intérieur des aéroports sont trop généralisées. La considération de situations particulières, telles des situations où l'on retrouve des mouvements d'entrecroisement, semble absente du processus de planification.

Dans ce document, le comportement des flots de passagers est examiné et ce, à l'aide des relations vitesse-densité. Grâce à une relation suivant le modèle linéaire proposé par Greenshield, puis à un taux d'occupation optimale, qui est fonction d'une série de superficies minimales par occupant et de proportions d'occupants stationnaires ou en mouvement, avec ou sans chariot à bagages, il est possible de déterminer l'espace total requis qui sera dédié aux passagers. On évite ainsi la sur ou sous estimation des besoins spatiaux.

D'autre part, les méthodes d'évaluation de la qualité de service sont souvent incomplètes et non représentatives de la perception des usagers. De plus, dans un contexte de privatisation des aéroports canadiens, la qualité de service devient un objectif principal de l'organisation.

Il est alors démontré que l'évaluation dépend d'une série de facteurs qualitatifs et quantitatifs. La combinaison de facteurs trouvée est unique à l'aéroport étudié. Certains de ces facteurs sont transformés en indices de performance afin d'être intégrés à un processus global d'évaluation.

## REMERCIEMENTS

L'auteur tient d'abord à remercier son directeur de thèse, monsieur Prianka N. Seneviratne, pour son apport constant de nouvelles idées, ses commentaires constructifs et ses encouragements tout au long de cette recherche.

L'auteur tient aussi à exprimer sa profonde gratitude aux membres de sa famille. Leur collaboration à la collecte des données, soutien et encouragements furent fort appréciés.

Finalement, des remerciements sont aussi adressés au personnel des aéroports de Montréal pour avoir rendu possible la collecte des données.

## TABLE DES MATIÈRES

	page
<b>CHAPITRE 1.0 INTRODUCTION .....</b>	<b>1</b>
1.1 Problématique .....	1
1.2 But et objectifs de l'étude .....	4
1.3 Démarche méthodologique .....	6
<b>CHAPITRE 2.0 BESOINS SPATIAUX .....</b>	<b>8</b>
2.1 Révision de littérature .....	8
2.1.1 Niveaux de service dans le contexte urbain .....	8
2.1.2 Niveaux de service dans le contexte aéroportuaire .....	12
2.2 Études et comparaison des relations Vitesse - Densité .....	20
2.2.1 Cueillette des données .....	20
2.2.2 Analyse des résultats .....	22
2.2.2.1 Caractéristiques de l'échantillon .....	22
2.2.2.2 Analyses de régression .....	24
2.2.2.3 Comparaison des relations Vitesse - Densité .....	32
2.3 Planification et conception des espaces de traitement où inter agissent occupants stationnaires et en mouvement .....	43
2.3.1 Étapes du processus de planification - Exemple: Aéroport de Montréal à Dorval .....	46
2.4 Synthèse .....	53
<b>CHAPITRE 3.0 FACTEURS INFLUENCANT LA QUALITÉ DE SERVICE .....</b>	<b>54</b>
3.1 Révision littéraire .....	54
3.2 Procédure de la cueillette des données .....	56
3.3 Enquête-pilote .....	56
3.4 Enquête finale .....	58
3.4.1 Questionnaire .....	58
3.4.2 Analyse des résultats .....	60
3.5 Synthèse .....	86

## Table des matières (suite)

	page
CHAPITRE 4.0 INDICES DE PERFORMANCE .....	88
4.1 Information .....	90
4.2 Temps d'attente .....	95
4.3 Disponibilité des sièges .....	96
4.4 Concessions .....	98
4.5 Commodité et ambiance intérieure .....	101
4.6 Proposition d'une méthode d'évaluation globale de la qualité de service ....	101
4.7 Synthèse .....	104
CHAPITRE 5.0 CONCLUSIONS .....	105
LISTE DES RÉFÉRENCES .....	111

## LISTE DES FIGURES

	page
 <b>CHAPITRE 2.0</b>	
Figure 2.1 Normes d'Espace Piétonniers Développées par Fruin. ....	10
Figure 2.2 Relation Hypothétique entre N. de S., Temps, et Espace. ....	18
Figure 2.3 Situation où les Passagers en Mouvement Traversent Derrière les Files. ..	22
Figure 2.4 Situation où les Passagers en Mouvement Croisent les Files. ....	23
Figure 2.5 Diagramme de Dispersion - Vitesse Vs. Densité. ....	24
Figure 2.6 Évolution de la Variance. ....	26
Figure 2.7 Relations Vitesse-Densité - Données des Comptoirs d'enregistrement. ....	32
Figure 2.8 Diagramme de Dispersion - Vitesse Moyenne Vs. Densité Totale. ....	34
Figure 2.9 Modèle Linéaire à Trois Régimes non Distincts. ....	36
Figure 2.10 Comparaison des Relations Linéaires. ....	38
Figure 2.11a Comparaison à l'Aide des Niveaux de Service selon Fruin. ....	40
Figure 2.11b Comparaison à l'Aide des Niveaux de Service selon L'IATA. ....	41
Figure 2.12 Structure des Niveaux de Service selon Fruin. ....	42
Figure 2.13 Dimensions Typiques de Passagers. ....	48
Figure 2.14a Effet du Mixte d'Occupants et de Passagers en Mouvement avec Chariot.	52
Figure 2.14b Effet du Mixte d'Occupants et de Passagers Stationnaire avec Chariot ..	52
 <b>CHAPITRE 3.0</b>	
Figure 3.1 Questionnaire Final. ....	59
Figure 3.2 Fréquences Obtenues des Facteurs pour l'Élément CIRCULATION. ....	64
Figure 3.3 Fréquences Obtenues des Facteurs pour l'Élément AIRES D'ATTENTE. ..	64
Figure 3.4 Fréquences Obtenues des Facteurs pour l'Élément ACTIVITÉ D'ACHEMINEMENT. ....	66
Figure 3.5 Comparaison des Fréquences selon le Motif du Déplacement. ....	69
Figure 3.6 Comparaison des Facteurs selon le Sexe. ....	71
Figure 3.7 Comparaison des Facteurs selon le Groupe d'Age. ....	73
Figure 3.8 Temps Passé dans l'Aérogare. ....	75
Figure 3.9 Comparaison des Facteurs selon le temps Passé dans l'Aérogare. ....	75
Figure 3.10 Arbre des Proportions pour les Facteurs Hiérarchisés. ....	85



## Liste des figures (suite)

page

### CHAPITRE 4.0

Figure 4.1 Procéssus Schématique d'Embarquement à Dorval. ....	94
----------------------------------------------------------------	----

## LISTE DES TABLEAUX

	page
 <b>CHAPITRE 2.0</b>	
Tableau 2.1 Structures de Niveaux de Service de Transports Canada & de l'IATA. ...	16
Tableau 2.2 Caractéristiques Générales des Échantillons d'Observations. ....	23
Tableau 2.3 Résultats du Test de Kolmogorov-Smirnov pour la Vérification de la Normalité de la Variable "Vitesse" - Données Désagrégées. ....	25
Tableau 2.4 Résultats des Analyses de Régression. ....	30
Tableau 2.5 Résultats du Test de Kolmogorov-Smirnov pour la Vérification de la Normalité de la Variable "Vitesse" - Données Modifiées Agrégées. ....	33
Tableau 2.6 Vérification d'un Modèle Linéaire à Trois Régimes non Distincts. ....	37
Tableau 2.7 Résultats des Analyses de Régression avec les Données Agrégées. ....	39
 <b>CHAPITRE 3.0</b>	
Tableau 3.1 Description des Facteurs Suggérés dans le Questionnaire Final. ....	61
Tableau 3.2 Caractéristiques de l'Échantillon. ....	62
Tableau 3.3 Différences Statistiques des Proportions de "Votes" Reçus par les Variables. ....	68
Tableau 3.4 Comparaisons Statistiques sur les Fréquences Désagrégées selon le Motif. ....	70
Tableau 3.5 Comparaisons Statistiques sur les Fréquences Désagrégées selon le Sexe. ....	72
Tableau 3.6 Comparaisons Statistiques sur les Fréquences Désagrégées selon le Groupe d'Age. ....	74
Tableau 3.7 Indépendance entre Variables Fixes et Facteurs. ....	78
Tableau 3.8 Association entre Variables Fixes et Facteurs. ....	80
Tableau 3.9 Modélisation des Variables Fixes (Basé sur les Probabilités Conjointes). ....	83
 <b>CHAPITRE 4.0</b>	
Tableau 4.1 Normes d'Espace pour les Salles de Départ. ....	96
Tableau 4.2 Calculs Détaillés pour l'Indice d'Accessibilité du Secteur INTÉRIEUR. ....	102
Tableau 4.3 Calculs Détaillés pour l'Indice d'Accessibilité du Secteur TRANSFRONTALIER. ....	103

## CHAPITRE 1.0 INTRODUCTION

### 1.1 PROBLÉMATIQUE

Depuis le début de son histoire, le transport aérien connaît une popularité sans cesse grandissante. Perçu à l'origine comme un moyen de transport de luxe, il est maintenant nécessaire au développement d'une société. Conséquence de l'augmentation de la demande, le développement des aéroports s'est fait par étapes, comme le décrit Mumayiz (1). Depuis l'origine des configurations primaires, les aéroports sont maintenant des systèmes complexes demandant une planification méticuleuse.

La sécurité et les préoccupations environnementales fixent les possibilités d'augmentation de la capacité du système aéroportuaire qui permettrait de répondre à la demande. Soucieuse de ces problèmes, la Federal Aviation Administration (FAA) (2) a entrepris un plan national d'action. Ce plan regroupe les améliorations en trois catégories générales : (1) infrastructure (incluant construction de nouvelles pistes et de nouveaux aéroports; (2) nouveaux principes de gestion (ex. gestion de la demande, avions plus gros, plus de vols directs, amélioration des règles de contrôle de la circulation aérienne); (3) technologie (nouveaux types d'avions, nouveaux moyens de transport au sol à grande vitesse, amélioration des équipements de contrôle de la circulation aérienne). Celles-ci permettent l'augmentation de la capacité des aéroports et le plan préconise l'intervention et la collaboration de tous les partis (c'est-à-dire allant du plus haut niveau gouvernemental jusqu'aux transporteurs aériens).

Semblablement, l'accessibilité inadéquate et la diversité des services complémentaires ont mené aux problèmes de congestion des routes d'accès aux aéroports et à la surpopulation des aérogares. Ce problème de congestion des routes avait déjà été reconnu en 1969 par le comité du conseil technique sur le transport urbain (3), puis a fait

l'objet d'études supplémentaires (4, 5, 6, 7). Kligen (8) suggère d'autres méthodes similaires plus spécifiques et reliées à l'aérogare, telles salles de rassemblement combinées, maniement automatique des bagages, installations communes (ex. comptoirs d'enregistrement) plutôt que dédiées.

Quant à l'aérogare, c'est le système aéroportuaire le plus difficile à évaluer. Ses multiples sous-systèmes sont gérés par différents organismes dont les intérêts divergent; et, par ailleurs, les besoins des usagers sont complexes et nombreux. Le manque de financement et les implications sociales et politiques concernant la localisation de nouvelles aérogares et l'expansion de celles déjà existantes font qu'il est très complexe et difficile de répondre à tous les besoins. À titre d'exemple, les locations à long terme des comptoirs d'enregistrement aux transporteurs empêchent souvent le groupe de gestion d'un aéroport de répondre adéquatement aux problèmes de capacité.

Les procédures de conception (pour nouveaux aéroports) et méthodes d'analyse (pour aéroports déjà existants) furent améliorées par la recherche et la venue d'outils informatiques. Le rôle d'outils indispensables que sont les micro-ordinateurs est bien établi, d'autant plus que l'utilisation des modèles de simulation pour la conception et la planification des aérogares allège la tâche des planificateurs. La diminution du temps d'analyse facilite la recherche vers les solutions optimales.

La diversité d'application de ces modèles couvre pratiquement tous les sous-systèmes. En passant par l'analyse des réseaux aériens jusqu'à celle des réseaux de transport de surface (ex. SIMMOD (9) et Airport Landside Planning System (10)), cette diversité s'accompagne d'une toute aussi grande spécificité du sujet traité. Les références 11, 12, 13 et 14 présentent d'autres types d'application des modèles de simulation.

Certains des modèles de simulation relatifs au milieu aéroportuaire, et plus spécifiquement reliés aux aérogares, reposent sur des principes encore à l'état rudimentaire.

Malgré l'avancement technologique, un manque d'études scientifiques dans le raffinement des critères de planification persiste. Par exemple, l'adaptation des principes des mouvements piétonniers en milieu urbain aux passagers d'un aéroport ne reflète pas nécessairement les besoins réels de ces derniers. Il existe des différences considérables entre les deux environnements. Le motif du déplacement, la présence de bagages et/ou de chariots à bagages et surtout l'aspect statique combiné à la dynamique des diverses activités représentent quelques-uns des facteurs générant des besoins (ou caractéristiques) particuliers aux passagers que l'on ne retrouve pas, par exemple, chez les piétons urbains.

Jusqu'à ce jour, aucune méthode ou procédure spécifique de planification n'est généralement acceptée. La plupart des agences de planification déterminent les besoins spatiaux des passagers à partir de volumes prévus de passagers pendant la période de pointe (ex: TPHP, typical peak hour passenger) pour un horizon quelconque et des critères d'espace par occupant. Les différentes lignes directrices proposées dans les manuels de planification abordent tous les aspects (ou éléments) à planifier, mais ces derniers y sont présentés d'une manière plutôt sommaire. De plus, chaque manuel adopte une méthodologie basée sur des paramètres différents (15, 16, 17, 18, 19). Par exemple, aux salles de rassemblement au départ, la FAA (15) énonce entre autres que les normes d'espace sont de 1.2 m<sup>2</sup>/pers et 1.4 m<sup>2</sup>/pers pour passagers debout et assis respectivement, mais n'indique pas le ratio à utiliser lors de la planification. Pour sa part, Transports Canada (16) spécifie les normes (différentes de celles de la FAA) et le ratio. L'IATA (17) ne différencie pas les passagers debout et assis et alloue 1 m<sup>2</sup>/pers. De façon similaire, les architectes (18) qui conçoivent les aéroports emploient, eux aussi, leurs principes (0.9 m<sup>2</sup> par passager debout, 1.4 m<sup>2</sup> par passager assis et 10% de superficie supplémentaire pour les besoins du transporteur).

Le fondement des méthodes de détermination des niveaux de service est tout aussi inconsistant. Transports Canada (20) a développé ses mesures de niveaux de service de

façon similaire à celles employées en génie du trafic autoroutier. De plus, il suppose que l'étendue de chaque niveau demeure proportionnellement constante pour tous les sous-systèmes de l'aéroport afin de permettre une comparaison entre des sous-systèmes souvent non reliés à l'intérieur d'un même complexe aéroportuaire. Une telle méthode peut cependant biaiser la perception du service chez les passagers puisque le type d'activité et son importance relative dans le processus complet d'embarquement ou de débarquement peuvent générer des comportements ou des attentes assez différentes qu'il serait impossible de les comparer sur une même base. Aussi, les procédures de conception déterminent des besoins spatiaux selon des critères généraux d'espace par personne plutôt que de se concentrer sur les endroits critiques ou problématiques.

D'autre part, la recherche scientifique relative aux méthodes d'évaluation est aussi limitée. Le TRB (Transportation Research Board) (21) a récemment publié un rapport reconnaissant le problème et proposant une méthodologie universelle. Cependant, la procédure ne commente, ni n'élabore d'autres approches de détermination de niveaux de service. Elle porte plutôt sur la définition de la demande et des caractéristiques opérationnelles des éléments composant un aéroport.

## 1.2 BUT ET OBJECTIFS DE L'ÉTUDE

L'inconsistance dans les méthodes de conception et d'évaluation d'aéroports résulte de la complexité des éléments les constituant et de leur interaction. Ce problème entraîne une mauvaise allocation des ressources. Par exemple, il arrive souvent que l'espace des installations, telles les aires d'attente, soit sur ou sous estimé.

La présente recherche vise à démontrer la présence de lacunes dans le fondement des méthodes de détermination des espaces dédiés aux passagers et d'évaluation de la qualité de service dans les aéroports. D'une part, les méthodes de détermination des espaces et les normes courantes de niveaux de service sont élaborées à partir de concepts

fondés sur la théorie de la circulation et adaptés au milieu aéroportuaire pour tenir compte de certaines différences environnementales. D'autre part, l'évaluation de la qualité de service est souvent incomplète et simplifiée puisque les seuls facteurs considérés sont ceux facilement quantifiables.

Alors que les études précédentes cherchaient à raffiner l'adaptation des principes aux aérogares et à employer diverses approches analytiques [comme l'ont fait Omer Khan (22) en employant la théorie de la courbe utilitaire pour estimer les niveaux de service], cette recherche aborde plutôt de nouvelles perspectives. D'abord, les besoins spatiaux aux aires d'attente d'une activité de traitement sont examinés. Ces endroits sont souvent sujets aux interactions entre les débits de passagers et les files d'attente et sont particulièrement sensibles à la congestion. En reconnaissant l'existence de tels phénomènes, on évite une généralisation des événements qui pourrait conduire à l'utilisation de mauvaises relations pour expliquer les faits et ainsi répondre adéquatement aux besoins des usagers.

L'aéroport de Paris/Roissy situe bien le contexte. L'aérogare de Air France était conçue pour opérer quotidiennement 10 avions par porte d'embarquement. Cependant, à cause de la façon des passagers de se regrouper devant les comptoirs où une activité de traitement aurait lieu, un blocage du passage des autres passagers à travers l'aérogare s'est développé et le nombre d'opérations a chuté à 6 avions par porte d'embarquement. Cet échec à prévoir de telles situations dans une aérogare, pour laquelle la superficie globale par occupant était en moyenne suffisante, a forcé la construction d'une nouvelle aérogare beaucoup plus tôt que prévu (23).

Ainsi, le premier objectif spécifique de l'étude est d'analyser des relations vitesse de marche-densité dans des situations où passagers en mouvement et stationnaires sont présents et en interaction. Cela permettra, d'une part, de mieux comprendre les

caractéristiques de comportement des usagers et, d'autre part, d'optimiser les ressources (d'espace) afin de mieux gérer la capacité et, par conséquent, de générer des économies.

Il est évident que l'espace est un facteur essentiel pour la planification des installations. Cependant, l'évaluation de la qualité du service offert aux passagers dépend d'autres facteurs. Dans un contexte de privatisation d'aéroports, comme Edmonton ou Calgary au Canada, le service à la clientèle devient une priorité pour le groupe de gestion de l'aéroport.

Le deuxième objectif est de démontrer, selon la perception des passagers, l'importance d'inclusion de facteurs qualitatifs quant à l'évaluation du service offert dans les aéroports. Les facteurs considérés comme les plus importants sont identifiés et certains sont transformés en indice de performance, ou expression mathématique, pour qu'ils puissent être intégrés à l'évaluation quantitative globale du service offert dans les aéroports.

En connaissant mieux les caractéristiques et les besoins des usagers des aéroports, il devient facile et économique de bien planifier pour des horizons plus lointains. De plus, le service amélioré contribuera à l'apport de recettes supplémentaires pour l'organisation gérant l'aéroport.

### 1.3 DÉMARCHE MÉTHODOLOGIQUE

Pour atteindre le premier objectif, une série d'observations sont effectuées devant des comptoirs d'enregistrement. Le chapitre deux présente l'enquête et l'analyse des résultats suite à une révision des écrits portant sur les méthodes de détermination des espaces et des niveaux de service. L'analyse des résultats inclut (1) l'élaboration de relations vitesse de marche-densité selon divers modèles théoriques et empiriques et (2) la comparaison des relations trouvées avec celles constituant le fondement des normes courantes. Les relations sont élaborées à partir de la régression linéaire.



Le troisième chapitre porte sur l'évaluation de la qualité de service offert aux passagers. Une révision de la littérature traitant des facteurs influençant la qualité de service offert dans les aéroports est d'abord exposée. Les résultats de sondages effectués auprès des passagers à l'embarquement sont ensuite présentés. Les facteurs quantitatifs et qualitatifs influençant la qualité de service sont identifiés.

Le chapitre suivant reprend les facteurs identifiés comme les plus influents et présente leur transformation en indices de performance. Cependant, un parallèle entre l'emploi d'indices de performance dans le transport urbain et en milieu aéroportuaire est d'abord établi. Une méthode générale d'évaluation globale de la qualité de service est aussi proposée.

Finalement, le chapitre cinq conclut en résumant les points soulevés et les résultats obtenus. Une brève description de projets de recherche connexes à celle-ci y est élaborée.

## CHAPITRE 2.0 BESOINS SPATIAUX

D'abord appliqués aux installations urbaines, les niveaux de service furent ensuite utilisés pour représenter les besoins en installations aéroportuaires. Les procédures de conception d'aérogares sont généralisées et les méthodes de détermination des niveaux de service (N.de S.) ne sont pas les plus représentatives des situations observées ou des besoins réels. Les normes spatiales sont déterminées selon les règles de l'art, c'est-à-dire selon des relations déjà établies et ce, sans tenir compte des particularités de chaque situation, faisant en sorte que ces relations deviennent moins appropriées. Par exemple, les aires d'attente devant les activités de traitement (activité où le passager subit une action, ex: enregistrement et collecte des bagages) sont parfois occupées par deux types de passagers: stationnaires et en mouvement. On retrouve, en quelque sorte, la présence de mouvements d'entrecroisement où un des flots de passagers est presque nul, tandis que le(s) autre(s) se déplace(nt) à une certaine vitesse plus élevée. Après une révision de la littérature sur les méthodes de planification des besoins spatiaux, le présent chapitre explique et compare certaines relations mathématiques reliées à la dimension spatiale (vitesse-densité); puis, une méthode de planification des espaces devant les comptoirs d'enregistrement est proposée pour tenir compte de l'interaction des deux types de passagers présents.

### 2.1 RÉVISION DE LITTÉRATURE

#### 2.1.1 Niveaux de service dans le contexte urbain

La reconnaissance de l'importance du piéton se fait de plus en plus évidente lorsqu'on regarde (1) le nombre grandissant d'études relatives aux piétons, et (2) la spécificité des sujets traités. Il y a 20 ans, les chercheurs (24, 25, 26, 27) analysaient les caractéristiques des débits piétonniers selon les théories conventionnelles de la circulation, c'est-à-dire en termes de vitesse, de densité et d'écoulement. Dans cet élan de pensée,

Fruin (28) adaptait aux installations piétonnières le concept de niveaux de service précédemment établi par le Highway Research Board (29). Ce concept avait alors pour but d'ajouter une certaine liberté de manoeuvre au processus de conception et d'analyse de la capacité des routes.

Fruin (28) s'est servi des théories (relations) de la circulation et les a directement appliquées à des observations prises dans des terminus d'autobus à New York. Représentant la relation entre l'écoulement et la vitesse des véhicules, la structure à six niveaux originellement développée par les ingénieurs en circulation fut transformée pour ainsi obtenir une relation entre l'écoulement piétonnier et la superficie allouée par piéton, appelée module, qui est en fait l'inverse de la densité. Ainsi, le fondement de sa relation repose sur une linéarité entre la vitesse ("space mean speed") de marche du piéton et la densité de piétons en mouvement. Les normes d'espaces piétonniers développées par Fruin s'appliquaient aux escaliers, files d'attente et trottoirs, pour lesquels trois différentes courbes représentaient autant de conditions: écoulements piétonniers uni-, bi- et multi-directionnels (figure 2.1). Dans son travail, Fruin a défini des niveaux de service de façon plus ou moins arbitraire, c'est-à-dire à intervalles réguliers.

Bien que le principe de base derrière ce travail soit encore utilisé de nos jours, sa validité doit être acceptée sous réserves. Le mouvement d'un piéton sur un trottoir est différent de celui d'un véhicule sur la route. Alors que les véhicules roulent dans une direction et suivant un certain arrangement (dans des voies spécifiques), les piétons peuvent:

- (a) marcher en groupes,
- (b) changer facilement et rapidement leur direction de déplacement et
- (c) arrêter subitement leur mouvement de marche.

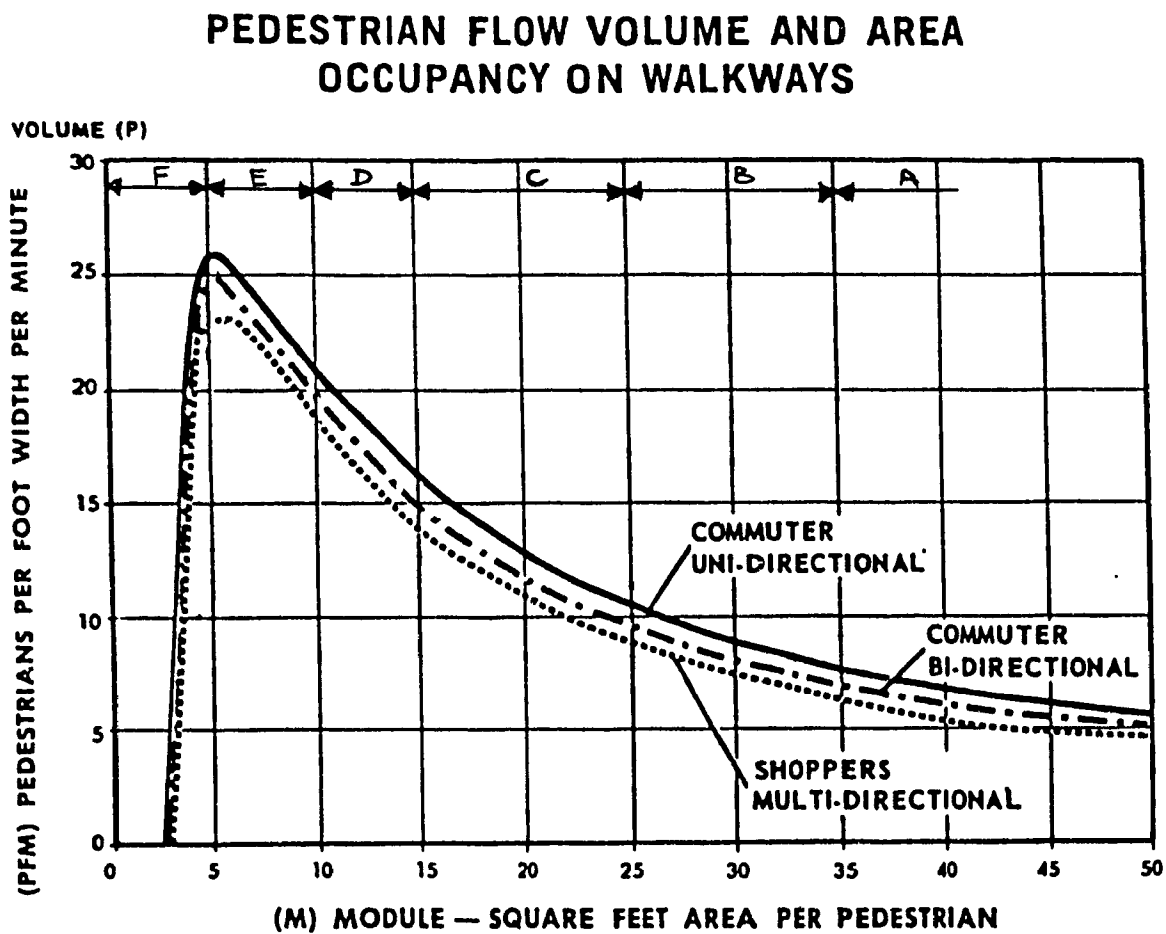


Figure 2.1 Normes d'Espaces Piétonniers Développées par Fruin. (Réf. 28)

À comparer aux véhicules, les piétons peuvent accepter de plus fortes densités, tout en conservant une vitesse de marche raisonnable.

Conscients de la particularité des caractéristiques du mouvement piétonnier, plusieurs chercheurs ont proposé diverses méthodes de détermination des niveaux de service et ont obtenu des résultats différents de ceux soutenus par Fruin. Polus et al. (30), ayant étudié l'écoulement piétonnier bi-directionnel sur les trottoirs, se sont servis d'analyses de régression et ont expliqué la relation vitesse de marche-densité par deux modèles linéaires, successivement à un et à trois régimes. Les auteurs ont opté pour le modèle à trois régimes puisqu'en associant chaque niveau à un régime, l'interprétation des variations dans l'écoulement piétonnier et de la définition des niveaux de service était facilitée. Toutefois, aucun test de vérification de régimes distincts n'a été mentionné et même si ce procédé produit des résultats moins approximatifs que celui proposé par Fruin, son application est d'autant plus limitée. Lorsque les caractéristiques d'un site donné sont telles que la relation vitesse-densité est expliquée par un modèle non-linéaire, l'évidence de la présence de niveaux distincts disparaît et la nécessité d'un jugement subjectif se fait ressentir.

Selon une étude effectuée par Seneviratne (31) portant sur les piétons à Calgary, Alberta, Seneviratne et Morrall (32) ont reconnu que les relations mathématiques utilisées pour décrire l'écoulement des véhicules ne s'appliquent pas directement à l'analyse de l'écoulement piétonnier. Ils ont aussi affirmé que les paramètres conventionnels d'évaluation de la qualité de service offerte par les allées piétonnières urbaines, tels la vitesse, la densité et l'écoulement, ne sont pas les seuls éléments déterminants; ces autres éléments sont trouvés à l'aide de sondages. Mori et Tsukaguchi (33) le proposent d'ailleurs dans leur méthode d'évaluation du niveau de service. Lorsque le niveau d'achalandage sur un trottoir est relativement peu élevé, le niveau de service est estimé selon la perception du piéton face aux caractéristiques physiques du trottoir étudié. Si, par

contre, l'achalandage devient plus élevé, l'estimation est basée sur des indices de densité de piétons et la largeur du trottoir.

Ces dernières études mènent à l'introduction de l'aspect qualitatif dans le processus d'évaluation d'installations piétonnes, fournissant une approche plus représentative de la perception des piétons.

### **2.1.2 Niveaux de service dans le contexte aéroportuaire**

Les recherches sur la performance des installations terminales aéroportuaires n'ont pas progressé aussi vite que celles portant sur les installations piétonnières urbaines. Aucune méthode normalisée d'évaluation n'existe et les normes utilisées dans les procédures de conception sont souvent définies selon des jugements subjectifs et des hypothèses cachées.

De plus, l'emploi d'une approche globale d'évaluation s'avère mal fondé puisque, quelque soit sa configuration, l'aérogare regroupe trois familles distinctes d'activités primaires — activités de traitement [achat des billets, enregistrement, dépôt des bagages, contrôle de la sécurité des passagers, immigration, douanes et réclame des bagages], activités de rassemblement [salles d'attente, salles de rassemblement au départ et salles d'attente pour passagers en transit], et activités de mouvement [le dépôt et la prise des passagers au linéaire, les corridors de départ et d'arrivée et l'interface du côté air] — entrecoupées d'activités secondaires [concessions ou autres]. Conséquemment, la nature différente des divers segments des processus entiers d'embarquement et de débarquement ne permet pas d'employer les mêmes mesures de performance pour tous les segments.

Les activités de rassemblement et de traitement, par exemple, ne peuvent être évaluées correctement en utilisant des mesures relatives à l'écoulement. Et même, les relations déjà établies pour l'évaluation en termes d'écoulement, de vitesse ou de densité

des activités de mouvement requièrent des modifications majeures en raison du contexte différent que représentent les aéroports à comparer aux installations piétonnières urbaines. Les motifs de déplacements sont dissemblables. La plupart des allées urbaines sont moins larges que les corridors à l'intérieur de l'aéroport. Aussi, dans un aéroport, on rencontre beaucoup de situations d'entrecroisement et, de plus, la présence des bagages et des chariots affecte la densité (ou le module) de passagers dans le ou les système(s) faisant l'objet de l'étude.

De ce fait, Davis et Braaksma (34, 35) ont étudié l'effet de la présence de pelotons et l'effet d'encombrement dû aux bagages et chariots sur l'écoulement uni-directionnel des passagers dans les corridors d'arrivée des aéroports. Ces deux études ont employé les "zones tampons" comme unité de mesure. Ces zones, conceptuellement similaires aux "espaces personnels" décrits dans la littérature de psychologie (36), sont définies par l'intervalle de distance entre deux passagers subséquents et la largeur typique d'un passager.

Dans l'étude des pelotons, une relation entre la vitesse de marche et l'écoulement des pelotons a été établie d'après l'intervalle de distance calculée grâce à l'intervalle de temps et à la vitesse de marche. Cela a permis, en outre, de comparer et de critiquer les méthodes conventionnelles de détermination de l'écoulement des pelotons qui sont toutes basées sur l'hypothèse à l'effet que les densités d'écoulement moyen relatives à la vitesse sont les mêmes pour l'écoulement des pelotons. Les niveaux de service pour l'écoulement de pelotons ont été définis d'après la relation théorique (proposée par Fruin) établie dans la littérature et en utilisant pour base de comparaison les seuils des vitesses correspondant à chaque niveau précédemment défini. Un niveau supplémentaire fut ajouté pour tenir compte des vitesses supérieures qui avaient été sous-estimées dans le travail de Fruin (28). Cette recherche adapte les niveaux de service à l'environnement aéroportuaire, mais n'est applicable qu'aux corridors d'arrivée et ne représente que des écoulements dans une

direction. L'ajustement des nouveaux niveaux de service à l'aide de la vitesse comme base initiale aurait pu aussi se faire à l'aide de l'écoulement ou même du module. Aucune raison justifiée de l'utilisation de la vitesse comme critère de sélection n'a été mentionnée. De plus, il a déjà été démontré que la validité des relations mathématiques de Fruin était discutable. Une méthode qui repose sur un tel fondement l'est tout autant.

Quant à leur étude portant sur l'effet d'encombrement, les relations que Davis et Braaksma ont établies entre la vitesse de marche et l'intervalle de temps pour les passagers avec ou sans bagages et pour les passagers avec chariots ont servi de base dans l'élaboration des facteurs d'ajustement, tels les facteurs pour chariots et pour pelotons. Un tel modèle servait à normaliser l'écoulement de passagers selon les différents besoins spatiaux. Les deux applications possibles de la méthodologie (ou du modèle) décrite sont:

- (1) le calcul des besoins en largeur réelle des corridors selon les débits horaires et les proportions de bagages et de chariots présents; et
- (2) le calcul du nombre de chariots à être alloués selon une largeur réelle donnée et les débits horaires de passagers.

L'adaptation aux conditions terminales aéroportuaires de cette méthode est supérieure à la précédente; elle présente cependant les mêmes déficiences quant à l'emploi des normes de niveaux de service.

Prises comme telles, les méthodes d'évaluation des installations de traitement sont aussi déficientes. D'après Ashford (37), ces installations, ainsi que celles de rassemblement, doivent être évaluées en termes d'espace et aussi de temps. Un temps d'attente donné, alors que la densité est élevée, paraîtra beaucoup plus long qu'un même temps, mais avec une densité moindre. Par analogie, une forte densité paraîtra plus désagréable si le temps d'attente est considérable.



Les méthodes de planification et de conception des installations terminales aéroportuaires sont aussi erronées. Ayant reconnu que la déficience majeure des méthodes de conception de telles installations était reliée au manque d'informations de base relatives à l'attitude et aux besoins des passagers, Bennetts et al. (38) ont utilisé une série de modèles analytiques de files d'attente servant de structure d'interprétation des activités des passagers et visant à définir des niveaux de service adaptés à l'écoulement de passagers et aux caractéristiques opérationnelles de l'aérogare. Une telle méthodologie prend en considération l'attitude des passagers en fonction de l'opération des systèmes (d'ailleurs, les passagers et leur attitude dans une aérogare furent étudiés par Ashford et al. et Bennetts et al. (39, 40)) lors de la conception du terminal et dans l'établissement des niveaux de service. Toutefois, elle ne considère pas la possibilité d'interaction de passagers ou occupants stationnaires et en mouvement. Pour sa part, Tosic (41) révisé les techniques employées dans la planification, la conception et l'analyse et modélisation opérationnelle dans les aéroports pour ensuite exposer les problèmes de chacune.

D'autre part, lors de la planification, l'usage de modèles de simulation (par ex. le Animated Graphic Display System (AGDS) (42)) et d'analyse de capacité (par ex. Airport Demand Analysis Model [ADAM], Terminal Capacity Utilization Model [TCUM], Airport Capacity Utilization Model [ACUM], Airport Traffic Analysis Model [ATAM], Level of Service Analysis Model et Terminal Area Planning System [TAPS] (43, 44)) est certes justifié dans l'exécution d'analyses de sensibilité sur l'importance relative des variations de la demande et du service portant sur la performance des systèmes.

Ces outils font cependant référence à une structure de six niveaux de service dont les normes sont exprimées en termes d'espace. Les structures qu'utilisent l'IATA (45) et Transports Canada (20), montrées au tableau 2.1, sont applicables aux cinq principaux sous-systèmes des aéroports canadiens: enregistrement, aires d'attente et de circulation, salle de rassemblement, aires de collecte des bagages et pré-"PIL" (lignes d'inspection

primaire) et démontrent une certaine linéarité dans les rapports entre l'allocation d'espace et les niveaux de service.

Tableau 2.1 Structures de Niveaux de Service de Transports Canada & de L'IATA

<b>Transports Canada</b>	<b>Étendues des Niveaux de Service (Mètres Carrés par Occupant)</b>					
<b>Sous-Système</b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>	<b>F</b>
Enregistrement	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	
Attente/Circulation	2.7	2.3	1.9	1.5	1.0	
Salle de Rassemblement	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	
Aire de Collecte des Bagages	1.6	1.4	1.2	1.0	0.8	
Inspections Primaires	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	
<b>IATA</b>	<b>Étendues des Niveaux de Service (Mètres Carrés par Occupant)</b>					
Enregistrement	1.8	1.6	1.4	1.2	1.0	
Attente/Circulation	2.7	2.3	1.9	1.5	1.0	
Salle de Rassemblement	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	
Aire de Collecte des Bagages	2.0	1.8	1.6	1.4	1.2	
Inspections Primaires	1.4	1.2	1.0	0.8	0.6	

Une telle linéarité, presque analogue à celle retrouvée dans les niveaux proposés par Fruin, avait été prévue dans le but de faciliter, lors de l'évaluation d'aérogare déjà existantes, la comparaison entre les sous-systèmes. Toutefois, elle peut produire des résultats faussement représentatifs des niveaux perçus par les passagers, en plus de ne pas tenir compte de la complexité et la nature des activités impliquées, tel qu'il a été expliqué précédemment.

Afin de représenter le mieux possible la perception des passagers, Transports Canada a repris ses normes d'espace et, comme la "British Airport Authority", y a introduit un facteur temps. Ashford (37) a cependant commenté l'inadéquation des niveaux de service fixés par les autorités aéroportuaires et a même suggéré une relation hypothétique entre les N de S, le temps et l'espace (voir figure 2.2). Au fur et à mesure que le temps d'attente augmente, pour une même superficie, la qualité du service perçue par les passagers diminue.

Mise à part la compréhension des besoins des usagers de l'aérogare, celle concernant les mécanismes d'opération des sous-systèmes et l'examen des situations observées dans de tels lieux sont souvent négligés. Les procédures de conception sont généralisées. Il arrive fréquemment que les groupes de gestion estiment, pour chaque sous-système, les besoins spatiaux pour passagers selon la demande prévue représentée par le volume de passagers à l'heure de pointe (Typical Peak Hour Passenger) et la superficie par occupant correspondant à un niveau de service voulu. Les espaces à allouer aux comptoirs, bureaux administratifs, etc. sont alors ajoutés aux besoins spatiaux dédiés aux passagers afin d'obtenir la superficie totale requise.

Plusieurs planificateurs et ingénieurs utilisent aussi les abaques développées par Ralph M. Parsons Inc. dans les années '70. Cette méthodologie permet l'affectation de l'espace global aux diverses fonctions sur la base de variables telles la flotte d'avions, le

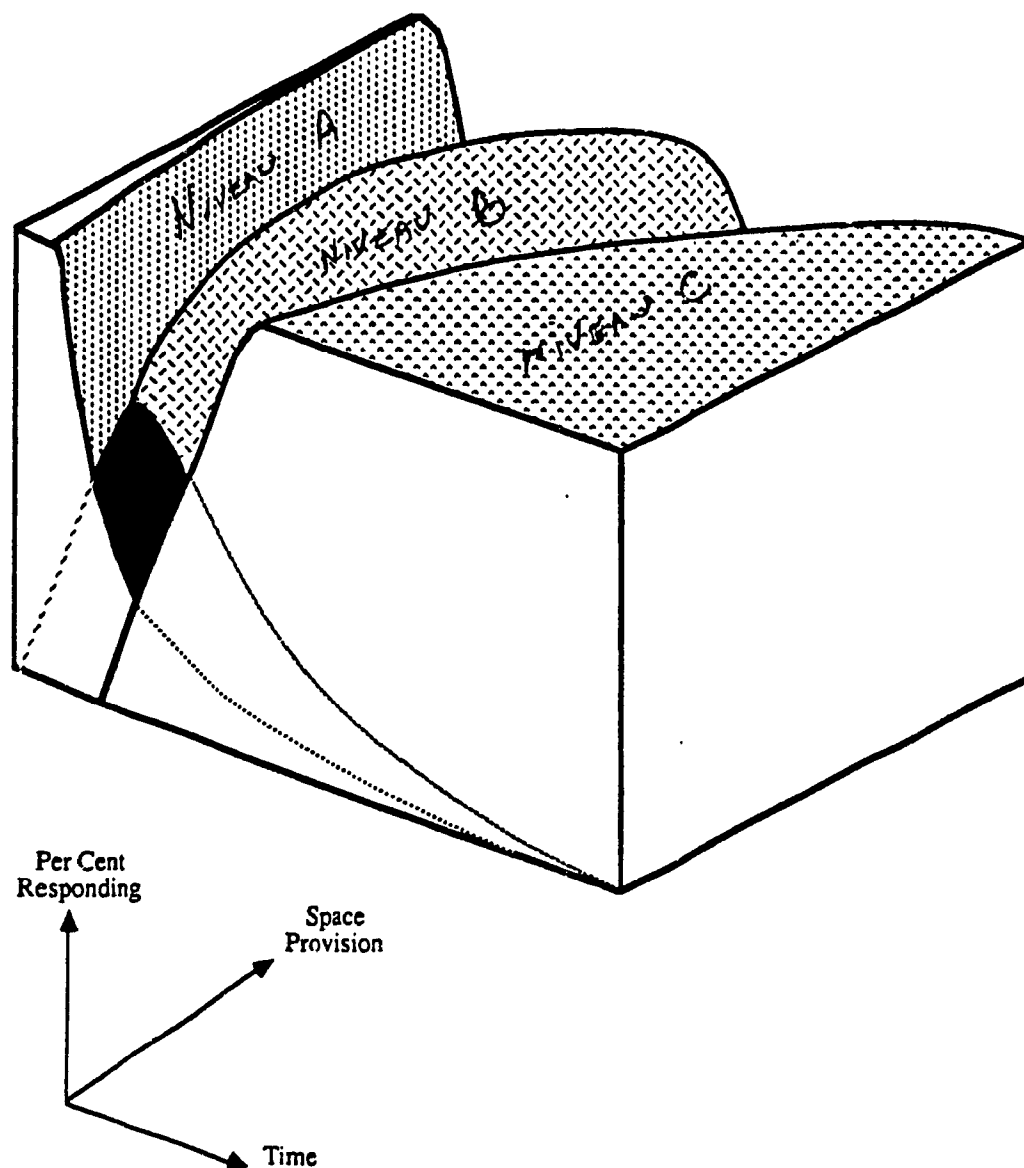


Figure 2.2 Relation Hypothétique entre N. de S., Temps, et Espace. (Réf. 37)

mixte de passagers au départ, les volumes annuels à l'embarquement et le type de dispositif de courroies à bagages.

Ces procédures semblent assez simples à comprendre et à employer; cependant les hypothèses, particulièrement celles relatives à la capacité pratique, ne semblent pas tout à fait claires pour permettre tout ajustement reflétant des cas spécifiques.

Par exemple, concernant certaines installations de traitement (comptoirs d'enregistrement), les critères spatiaux ont pour base des relations exprimant des situations où les aires d'attente devant les points de traitement ne sont occupées que par des passagers stationnaires, attendant en files d'attente. Cette hypothèse serait valide si le concept de file d'attente unique (comme dans les banques) était employé. Or, la majorité du temps, une telle aire d'attente est utilisée par des passagers regroupés en files d'attente plus ou moins distinctes et par des personnes se faufilant entre ces files afin de traverser la dite section.

Le travail de de Neufville et Grillo (23) tient compte de ce phénomène et propose en conséquence une méthode de détermination de la largeur des corridors pour les occupants en mouvement, et de la dimension des aires d'attente devant les postes de traitement pour les passagers stationnaires. L'évaluation de ces espaces est cependant basée sur des normes spécifiques aux aires d'attente et aux débits de passagers. L'interaction des deux catégories d'occupants (ou passagers) n'a pas été examinée.

Weston et Marshall (46) ont, par ailleurs, étudié les mouvements d'entrecroisement d'écoulements piétonniers. Il a été mentionné que l'entrecroisement cause des conflits qui ont pour effet de modifier le mouvement des piétons. Cet effet de dérangement peut persister même après l'événement. Ce concept ressemble à celui traité précédemment; néanmoins, il ne considère pas les piétons stationnaires et ne s'applique qu'aux installations urbaines.

Les prochaines sections présentent une étude effectuée dans l'aérogare de l'aéroport de Dorval, qui vise à expliquer les besoins en espace lorsqu'il y a interaction entre les deux catégories de passagers et analyse les résultats obtenus tout en les comparant aux relations employées dans l'élaboration des normes courantes. La méthodologie utilisée dans l'analyse des résultats prend pour exemple le travail de Drake et al. (47), en comparant statistiquement les modèles représentant la relation vitesse-densité proposés par divers chercheurs.

## 2.2 ÉTUDES ET COMPARAISONS DES RELATIONS VITESSE-DENSITÉ

### 2.2.1 Cueillette des données

L'aérogare de l'aéroport de Dorval est choisie pour les fins d'étude dans cette recherche. Elle consiste en deux jetées (une pour les vols intérieurs et l'autre pour les vols transfrontaliers) s'étendant de façon linéaire de chaque côté de l'aire principale où les activités d'acheminement prennent place et où la majeure partie des concessions sont localisées.

Dans le cadre de cette recherche, seul le processus d'embarquement de cet aéroport est considéré. De plus, dans le but d'expliquer et de supporter les points de vue émis, l'aire devant les comptoirs d'enregistrement est retenue pour l'étude des besoins spatiaux. Le choix de ce sous-système s'explique ainsi:

- (1) La situation retrouvée combine des occupants stationnaires et en mouvement;
- (2) Les temps de traitement sont assez longs pour qu'il y ait formation de files d'attente; et
- (3) L'emplacement de cette activité est en zone publique. Les débits et densités peuvent varier considérablement, ce qui permet une base plus élargie de données.

Il est à noter que dans le cas de Dorval, la géométrie devant les comptoirs d'enregistrement en est une problématique. Pendant les périodes de pointe, l'espace total restreint cause des niveaux élevés de congestion.

La cueillette des données s'étend sur une période de près de trois mois, soit février, mars et avril 1990. Pour que les échantillons représentent des populations homogènes, les observations ont toutes été prises les mercredis matin entre 5h30 et 9h00, devant les comptoirs d'une même ligne aérienne. Deux types d'observations (décrites ci-après) sont recueillies en cinq séries (à cinq reprises). Cette opération s'avère nécessaire afin de couvrir une plus grande étendue de densités possible.

La méthode d'enquête consiste à définir une superficie totale à l'intérieur de laquelle sont comptés passagers (et accompagnateurs) stationnaires et en mouvement. Les densités de passagers sont alors déterminées. Au même moment, un "passager suiveur" (enquêteur) chronomètre le temps qu'un passager prend à traverser la zone d'étude. Sa vitesse ("space mean speed") de marche peut alors être facilement calculée.

Les deux types d'observations sont illustrés aux figures 2.3 et 2.4. À la figure 2.3, les occupants (passagers et accompagnateurs) en mouvement se suivent en file indienne, derrière les files d'attente plus ou moins distinctes, pour traverser l'aire; alors qu'à la figure 2.4, les occupants traversent l'aire en se faufilant parmi ces files d'attente.

Cependant, d'après des observations générales, il est trouvé que les deux situations ne sont pas significativement différentes. Pour cette raison, l'analyse est exécutée avec les données agrégées.

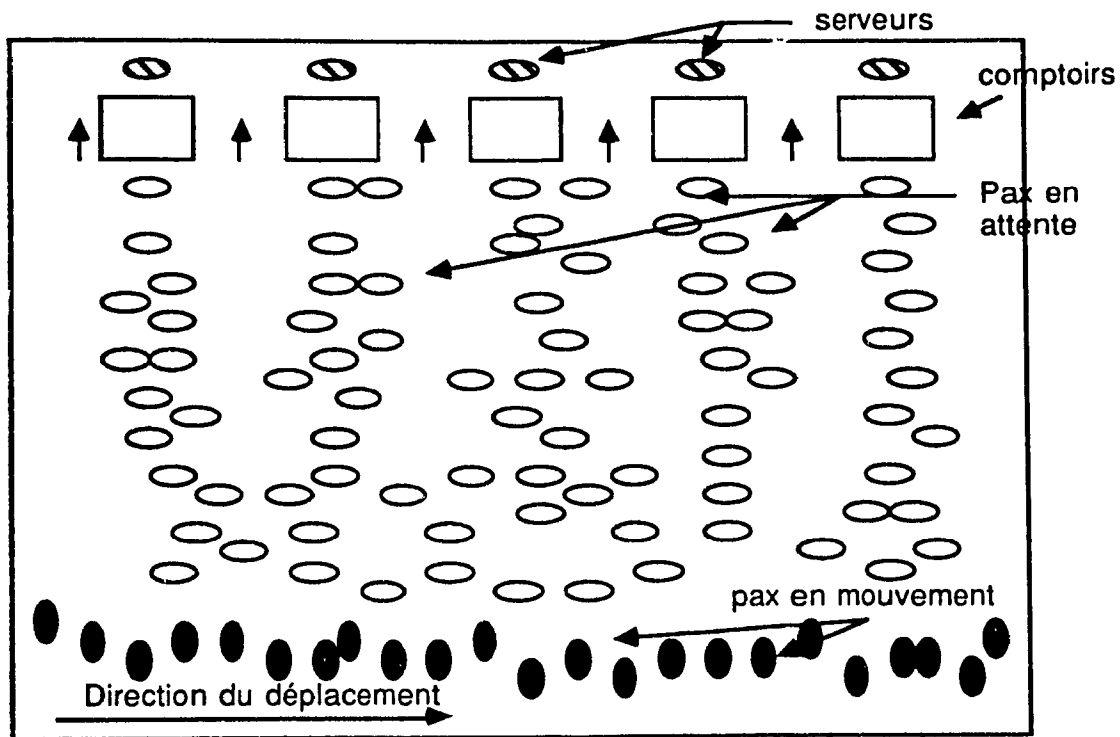


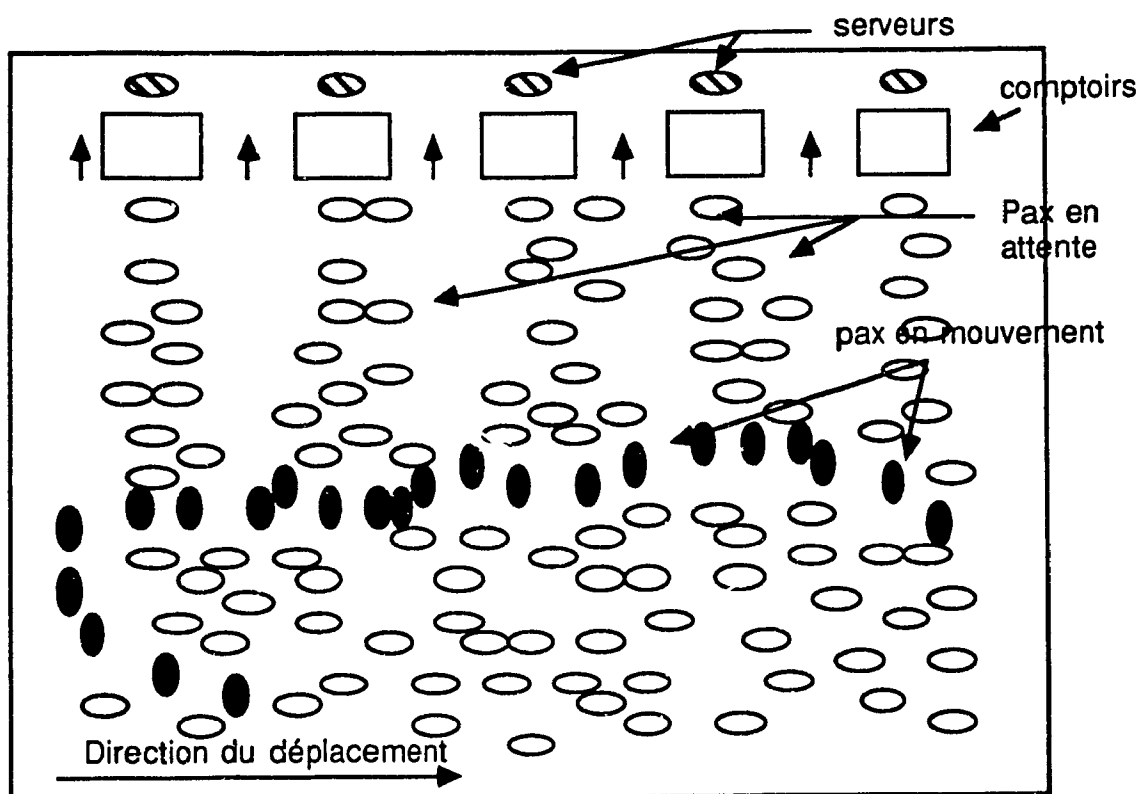
Figure 2.3 Situation où les Passagers en Mouvement Traversent Derrière les Files.

## 2.2.2 Analyse des résultats

### 2.2.2.1 Caractéristiques de l'échantillon

Le tableau 2.2 nous fait observer la taille des échantillons des cinq enquêtes et l'étendue des densités observées. Ces densités représentent des densités nettes obtenues en retranchant approximativement 1.3% de la superficie totale pour tenir compte de l'effet d'effleurement. On remarque que la deuxième enquête a permis de recueillir de faibles densités, alors que c'est pendant la troisième que les densités les plus fortes furent observées. L'échantillon total (589 observations) se compose de densités nettes allant de 0.13 à 2.21 pers./m<sup>2</sup> et de vitesses variant entre 0.06 et 1.87 m/s. Un coefficient de corrélation de -0.555 entre les deux variables démontre l'existence d'une certaine relation inverse. La figure 2.5 illustre le diagramme de dispersion.





**Figure 2.4 Situation où les Passagers en Mouvement Croisent les Files.**  
**Tableau 2.2 Caractéristiques Générales des Échantillons d'Observations.**

Date	Taille de l'échantillon	Densité (pers./m <sup>2</sup> )
7 février 1990	183	0.3135 - 1.6439
14 février 1990	38	0.1332 - 0.2508
14 mars 1990	147	0.9956 - 2.2126
28 mars 1990	106	0.2982 - 0.6728
18 avril 1990	115	0.2884 - 0.7813

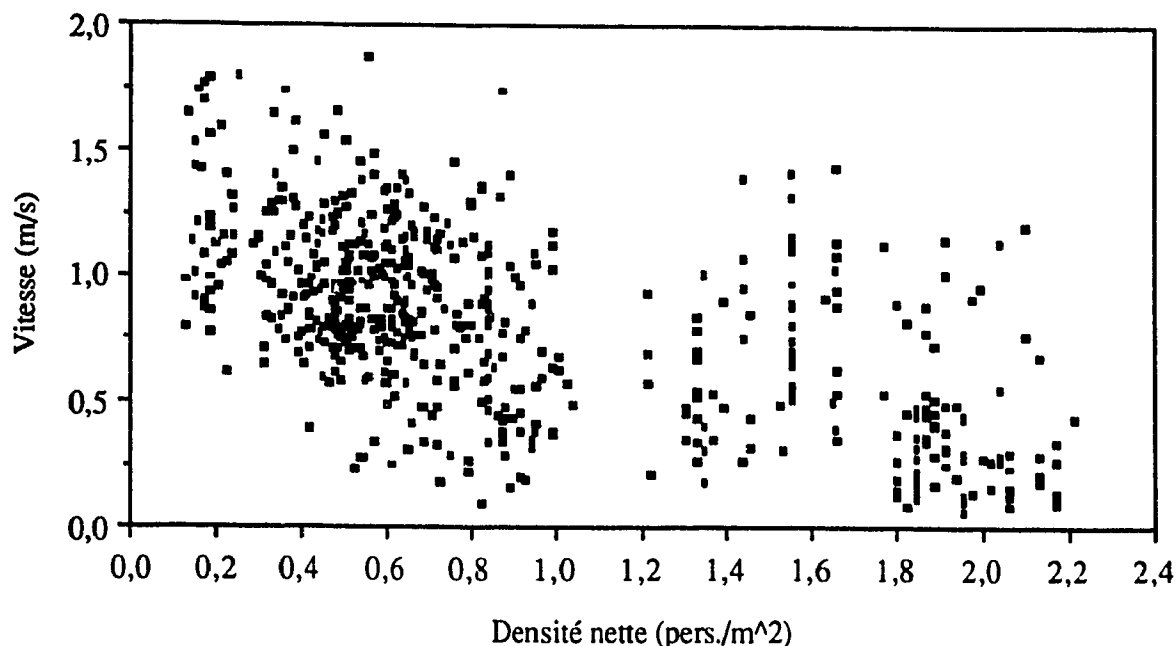


Figure 2.5 Diagramme de Dispersion - Vitesse Vs. Densité nette.

La nature de la relation existant entre la densité et la vitesse de marche des passagers devant les comptoirs d'enregistrement est déterminée principalement par des analyses de régression, puis par des tests statistiques aidant à mesurer l'adéquation des résultats prédis à ceux observés.

#### 2.2.2.2 Analyses de régression

##### *Vérification des hypothèses de base de la régression linéaire*

**INDÉPENDANCE:** l'indépendance entre les variables est vérifiée et confirmée avec le coefficient de corrélation.

**NORMALITÉ DE LA VARIABLE DÉPENDANTE:** la normalité de la distribution des vitesses (variable dépendante) est vérifiée pour chaque intervalle de densités (variable indépendante), c'est-à-dire que les densités sont premièrement arrondies au dixième près

(permettant d'obtenir un maximum de précision pour la quantité de données disponibles). Ensuite, la loi de la distribution des vitesses correspondant à chacun de ces intervalles est déterminée. Le test de Kolmogorov-Smirnov, test approprié pour des échantillons de petite taille, montre que pour tous les intervalles, les vitesses sont normalement distribuées (voir tableau 2.3). De plus, toutes les variations sont plus ou moins constantes. Elles ne varient pas avec les densités.

Tableau 2.3 Résultats du Test de Kolmogorov-Smirnov pour la Vérification de la Normalité de la Variable "Vitesse" - Données Désagrégées.

Densité (pers./m <sup>2</sup> )	Taille de l'échantillon	Moyenne de la vitesse	Écart-type de la vitesse	Variance de la vitesse	Valeur "p" du test K-S
0.2	26	1.209	0.303	0.091	0.999
0.3	21	1.122	0.289	0.084	0.999
0.4	44	1.013	0.271	0.074	0.999
0.5	93	0.934	0.253	0.064	0.395
0.6	90	0.941	0.289	0.083	1.000
0.7	54	0.857	0.279	0.078	0.999
0.8	51	0.807	0.311	0.097	0.999
0.9	34	0.608	0.369	0.136	0.150
1.0	17	0.703	0.285	0.081	0.470
1.2	4	0.604	0.301	0.091	1.000
1.3	16	0.522	0.226	0.051	0.999
1.4	9	0.747	0.370	0.137	1.000
1.5	22	0.774	0.310	0.096	1.000
1.6	5	0.675	0.280	0.078	0.999
1.7	8	0.876	0.357	0.127	1.000
1.8	24	0.348	0.268	0.072	0.150
1.9	24	0.496	0.248	0.062	0.060
2.0	17	0.397	0.320	0.102	0.200
2.1	13	0.341	0.336	0.113	0.140
2.2	6	0.234	0.139	0.019	0.999

La figure 2.6 indique l'évolution de la variance des vitesses avec la densité. L'instabilité démontrée par les fluctuations dans l'évolution se fait particulièrement évidente dans la région de densités entre 0.9 et 1.4 pers./m<sup>2</sup>.

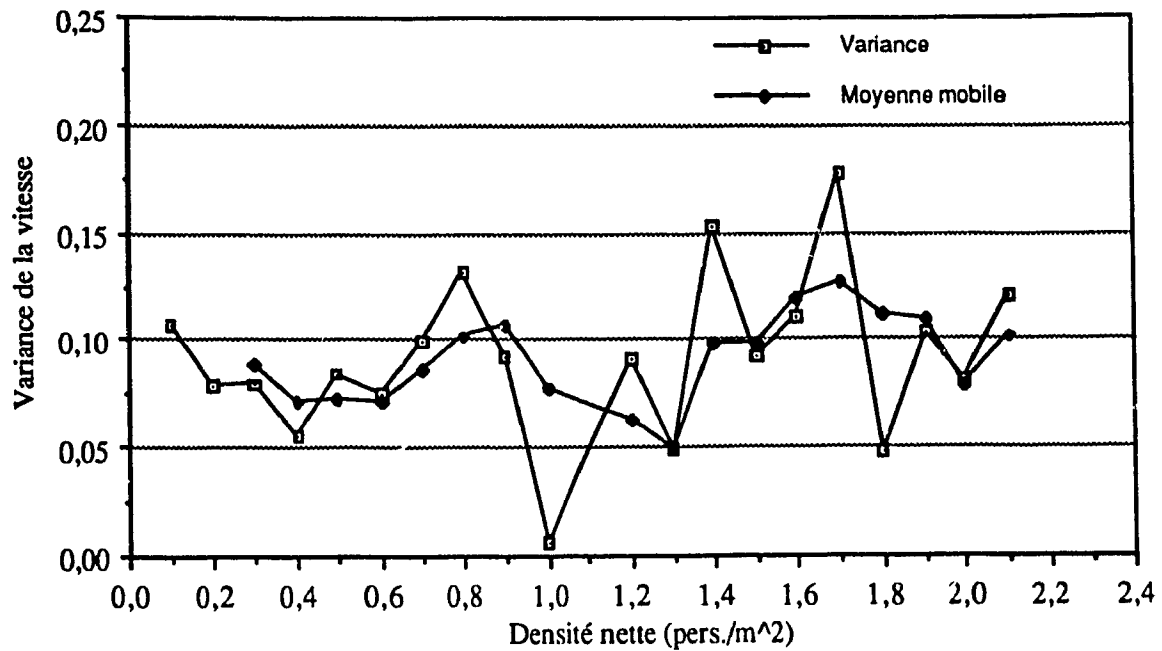


Figure 2.6 Évolution de la variance.

#### Élaboration des relations

Au total, sept modèles sont étudiés. Le premier est le modèle linéaire de Greenshield (47). Ce modèle explique facilement la vitesse non contrainte et la densité de congestion. La définition des intervalles pour les niveaux de service à partir de la relation peut cependant s'avérer subjective. Le modèle de Greenshield possède la forme suivante:

$$U = U_f(1 - K/K_j) \text{ où } U = \text{vitesse,}$$

$K$  = densité,

$U_f$  = vitesse non contrainte,

et  $K_j$  = densité de congestion.

En second lieu, le modèle exponentiel de Greenberg (47) est examiné. Ce modèle explique difficilement la vitesse non contrainte, mais détermine la densité à laquelle on atteint la capacité, c'est-à-dire lorsque le volume est maximal par rapport à la densité. La détermination des niveaux de service est aussi subjective, mais à un degré moindre. Tout

dépendant des coefficients du modèle, l'allure de la courbe peut donner un aperçu des comportements et des intervalles pour les différents niveaux. La forme de ce modèle est comme suit:

$$U = c \ln(K_j/K) \text{ où } c = \text{vitesse à laquelle le volume est maximal par rapport à la densité.}$$

Le troisième modèle provenant de source théorique est celui d'Underwood (47), soit le modèle exponentiel inversé. Contrairement au modèle de Greenberg, celui d'Underwood explique bien la vitesse non contrainte. De plus, ce dernier fait l'hypothèse qu'à une densité de "congestion", il y aura toujours un certain mouvement. La vitesse ne sera donc jamais nulle. La capacité peut aussi être déterminée grâce au paramètre  $K_m$  défini comme étant la densité à laquelle le volume est maximal par rapport à la densité. Le modèle est de forme suivante:

$$U = U_f e^{-K/K_m} \text{ où } K_m = \text{densité à laquelle le volume est maximal par rapport à la densité.}$$

Quant aux modèles logarithmique et de réciprocité, la vitesse non contrainte est difficilement expliquée. L'utilité de la relation logarithmique est dans l'explication des comportements. Grâce à l'allure de la courbe (définie par les coefficients  $a$  et  $b$  de la relation décrite ci-bas), il est possible de trouver la densité à laquelle le taux de réduction de la vitesse varie soudainement. Ainsi, il est permis de supposer qu'après cette densité optimale, toute augmentation n'affectera pas significativement la vitesse. La relation de réciprocité est relativement semblable à l'exception où la vitesse minimale (à forte densité) est définie par le coefficient  $a$ ; ce qui ramène à l'hypothèse d'Underwood à l'effet qu'à une densité de "congestion", il y aura toujours un certain mouvement. Ces deux modèles sont exprimés ainsi:

modèle logarithmique:

$$U = aK^b ;$$

modèle de réciprocité:

$$U = a + b/K.$$

Deux autres modèles sont considérés. Un modèle exponentiel de forme:

$$U = ae^{bK} ,$$

et un modèle linéaire discontinu à deux régimes:

$$U_1 = U_{f1} (1 - K/K_{j1}) \text{ où } U_{f1} = \text{vitesse non contrainte}$$

selon le 1er régime,

$$K_{j1} = \text{densité maximale selon le}$$

1er régime,

$$U_2 = U_{f2} (1 - K/K_{j2}) \text{ où } U_{f2} = \text{vitesse non contrainte}$$

selon le 2ième régime,

$$K_{j2} = \text{densité maximale selon le}$$

2ième régime.

Ce dernier modèle possède tous les avantages du modèle linéaire continu en plus de déterminer distinctement, grâce aux régimes, les divers niveaux de service.

Avant de développer les relations suivant les modèles décrits, une détermination à savoir si les observations montrent la présence de régimes distincts est d'abord effectuée. La méthodologie employée est celle proposée par Quandt (48), à l'exception d'une étape: l'utilisation d'une fonction de vraisemblance dans l'estimation du seuil où les deux régimes sont les plus différents est omise. L'estimation est plutôt basée selon un examen visuel du diagramme de dispersion. Pour appuyer cette dernière, trois densités sont utilisées comme seuil. La méthodologie utilise en général le test de Fisher (48) pour déterminer la présence

des régimes distincts. (Une description détaillée de la procédure est fournie dans la section qui porte sur la comparaison des relations existantes avec celles développées ci-bas.) A une densité de 1.4 pers./m<sup>2</sup>, deux régimes sont présents.

Le tableau 2.4 présente les relations vitesse-densité élaborées ainsi que les tests statistiques employés. Le test d'importance de la régression (test de Fisher) produit de bons résultats à tous les niveaux de confiance et ce, pour tous les modèles. Le test pour la pente de la régression (ou coefficient b) est aussi significatif, prouvant que les coefficients sont différents de zéro et qu'ils apportent une contribution dans le modèle. De façon similaire, le test pour la constante de la régression (coefficient a) mène aux mêmes conclusions. Le deuxième régime du modèle linéaire discontinu fait cependant exception, puisque la valeur "t" est presque nulle (donc la probabilité que le coefficient soit significativement égal à zéro est de près de 1).

Mesures d'adéquation ( $R^2$ , erreur-type, et Durbin-Watson): le coefficient de détermination  $R^2$  indique le rapport des "explications" de la variable indépendante sur les variations totales de la variable dépendante. Ainsi, les coefficients pour les différents modèles varient entre 20 et 40%. Cela signifie qu'entre 20 et 40% des variations dans la vitesse sont expliquées par la densité. Selon ce test, le modèle d'Underwood est le moins représentatif.

En raison du très grand nombre d'observations, il semble normal d'obtenir de si bas coefficients avec une seule variable indépendante. D'autres variables à considérer dans l'amélioration des relations pourraient inclure la présence de chariots à bagages, le nombre de bagages et la présence de pelotons.

Table 2.4 Résultats des Analyses de Régression.

Modèles	Relations	F-test	T <sub>a</sub>	T <sub>b</sub>	R <sup>2</sup>	Erreur-Type	D-W
Linéaire selon Greenshield	$Y = 1.153 - 0.382X$	284.977	49.322	-16.881	0.327	0.301	1.845
Exponentiel selon Greenberg	$Y = 0.335\ln(8.30/X)$	295.855	51.855	-17.200	0.335	0.299	1.865
Exp. Inversé selon Underwood	$Y = 0.48 * e^{0.227/X}$	156.843	-19.220	12.524	0.211	0.534	1.217
Logarithmique	$Y = 0.593X - 0.557$	306.638	-23.135	-17.511	0.343	0.487	1.587
Inverse	$Y = 0.565 + 0.149/X$	189.818	25.083	13.777	0.244	0.319	1.639
Exponentiel	$Y = 1.286 * e^{-0.677X}$	362.310	6.843	-19.034	0.382	0.473	1.786
Linéaire (régime 1)	$Y_1 = 1.276 - 0.606X_1$	139.915	36.817	-11.828	0.232	0.287	2.220
Linéaire (régime 2)	$Y_2 = 2.045 - 0.837X_2$	39.360	0.244	-6.273	0.243	0.306	1.475



La seconde mesure d'adéquation utilisée est l'erreur-type. Le modèle de Greenberg et le premier régime du modèle linéaire discontinu présentent les meilleures performances, bien que les autres modèles aient aussi des erreurs-types relativement basses.

Finalement, le Durbin-Watson, qui est un test concernant la corrélation des résiduels, assure que la variance de résiduels calculés ne sous-estime pas la vraie variance du terme d'erreur et que l'estimateur (ou densité de passagers) soit le meilleur possible. Les résultats démontrent que la relation selon le modèle d'Underwood, la relation de réciprocité et le deuxième régime du modèle discontinu sont en présence possible d'une corrélation cyclique. Elles ne passent donc pas le test. Une fois de plus, la relation selon Greenberg est la meilleure des sept.

D'après tous ces tests, il semble que le modèle de Greenberg décrive assez bien la relation vitesse-densité pour le genre d'observations effectuées dans cette étude.

La figure 2.7 illustre les relations linéaires et exponentielles selon Greenshield et Greenberg. Tel que souligné précédemment, le modèle de Greenberg est rarement utilisé en raison de sa faiblesse à représenter vraisemblablement les vitesses lorsque les densités sont très faibles.

La figure démontre clairement qu'avec une relation exponentielle, si les densités se rapprochent de 0, les vitesses tendent vers l'infini, ce qui est impossible en pratique. Suite à une comparaison de diverses études portant sur les relations vitesse, densité et écoulement, Pushkarev et Zupan (27) en sont venus à constater qu'aucun piéton n'adoptera volontairement une vitesse de marche supérieure à 2.03 m/s. En fixant cette vitesse dans la relation exponentielle, on peut alors supposer qu'elle sera constante jusqu'à ce que la densité atteigne 0.02 pers./m<sup>2</sup>. À ce point, toute augmentation de la densité causera une réduction de la vitesse.

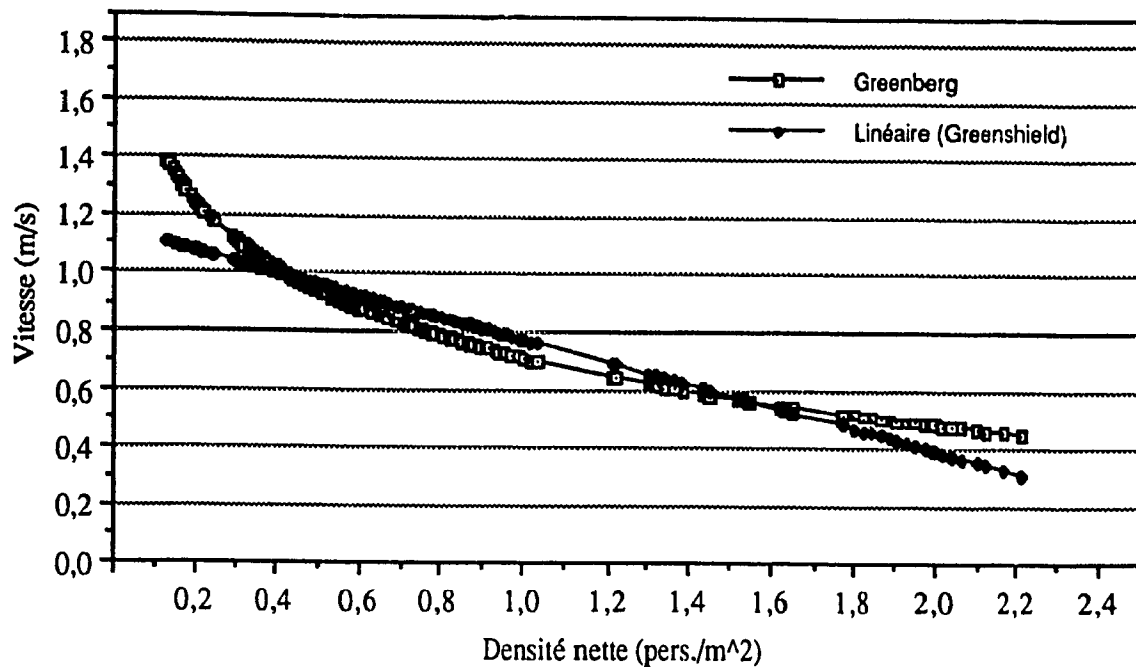


Figure 2.7 Relations Vitesse-Densité - Données des Comptoirs d'Enregistrement.

### 2.2.2.3 Comparaison des relations vitesse-densité

Une comparaison des relations linéaires développées dans le cadre de cette étude avec celle de Fruin (28) et celle de Polus et al. (30) est utile pour mieux comprendre les différences de comportement entre piétons en milieu urbain et passagers dans une aéroport. Cependant, d'après l'examen des divers tests statistiques pour les modèles choisis, il semble que la corrélation entre les deux variables soit trop faible pour permettre l'utilisation de ces relations pour fins de comparaisons.

Il a été décidé de modifier les données. Puisque les études sur les relations vitesse-densité emploient la vitesse moyenne (ou "space-mean speed") et la densité totale, la base de données servant à la comparaison est différente de celle utilisée dans la section

précédente pour l'élaboration des relations. D'abord, plutôt que de considérer l'effet d'effleurement comme pour les densités nettes, il faut obtenir les densités globales; les données sont ensuite agrégées. Un exercice semblable à celui ayant permis l'établissement du tableau 2.3 est répété et le tableau 2.5 décrit les nouveaux résultats.

Tableau 2 5 Résultats du Test de Kolmogorov-Smirnov pour la Vérification de la Normalité de la Variable "Vitesse" - Données Modifiées Agrégées.

Intervalle de Densité nette (pers./m <sup>2</sup> )	Taille de l'échantillon	Moyenne de la vitesse	Écart-type de la vitesse	Variance de la vitesse	Valeur "p" du test K-S
0.1 - 0.19	26	1.223	0.327	0.107	0.663
0.2 - 0.29	14	1.197	0.280	0.078	0.716
0.3 - 0.39	37	1.094	0.282	0.079	0.921
0.4 - 0.49	77	0.941	0.233	0.054	0.157
0.5 - 0.59	77	0.937	0.289	0.083	0.635
0.6 - 0.69	85	0.898	0.276	0.076	0.904
0.7 - 0.79	41	0.828	0.315	0.099	0.934
0.8 - 0.89	52	0.770	0.363	0.131	0.833
0.9 - 0.99	28	0.634	0.303	0.092	0.546
1.0 - 1.09	4	0.594	0.078	0.006	0.999
1.2 - 1.29	4	0.604	0.301	0.090	0.993
1.3 - 1.39	20	0.530	0.222	0.049	0.620
1.4 - 1.49	9	0.758	0.391	0.153	0.974
1.5 - 1.59	19	0.811	0.304	0.092	0.961
1.6 - 1.69	13	0.798	0.332	0.110	0.843
1.7 - 1.79	2	0.830	0.421	0.178	0.999
1.8 - 1.89	37	0.377	0.220	0.048	0.601
1.9 - 1.99	20	0.434	0.322	0.103	0.264
2.0 - 2.09	13	0.291	0.286	0.081	0.114
2.1 - 2.19	11	0.390	0.347	0.120	0.337
2.2 - 2.29	1	-----	-----	-----	-----

La figure 2.8 montre le nouveau diagramme de dispersion. Selon un examen visuel, on peut remarquer la tendance décroissante de la vitesse moyenne jusqu'à une densité d'environ 1 pers./m<sup>2</sup>. Dans l'intervalle de 1 à 1.8 pers./m<sup>2</sup>, le taux de décroissance diminue pour augmenter à nouveau dans les densités plus fortes que 1.8

pers./m<sup>2</sup>. L'utilisation du test de Fisher et la méthode de Quandt (48) brièvement mentionnée à la section précédente serviront à vérifier l'exactitude de l'examen visuel.

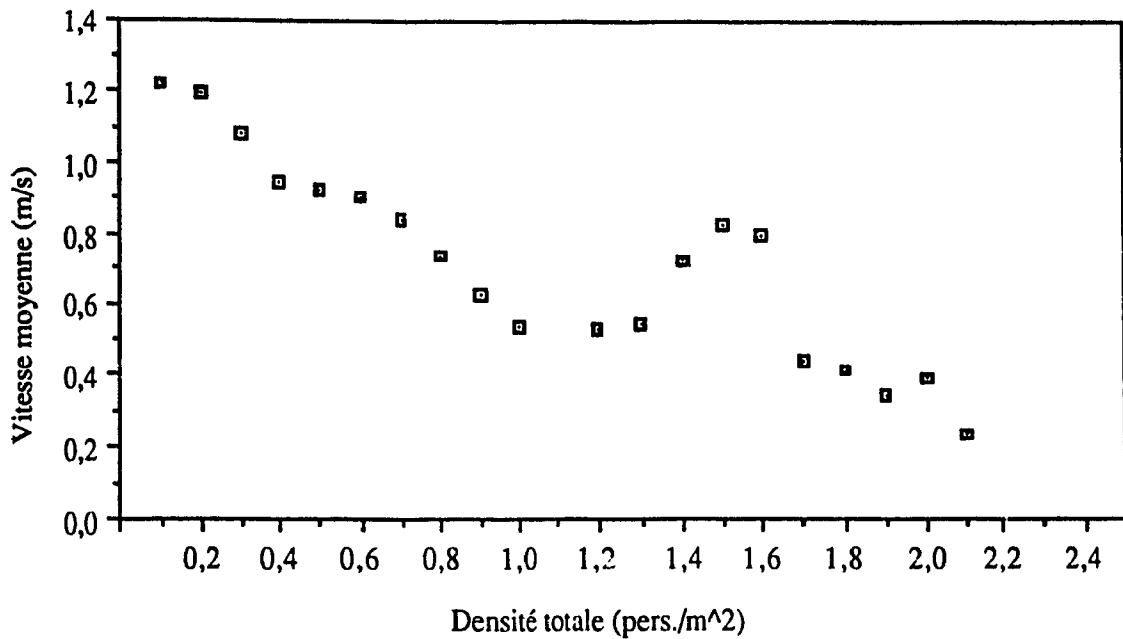


Figure 2.8 Diagramme de Dispersion - Vitesse Moyenne Vs. Densité Totale.

La méthodologie s'explique comme suit: d'abord, il s'agit d'élaborer une relation linéaire grâce à une analyse de régression pour les données de chaque régime; ensuite, l'équation du régime I est appliquée aux observations du deuxième régime, puis aux observations du troisième régime. Les quantités

$$N_{I-I} = (1/\partial) \sum (a_1 + b_1 x_i - y_i)^2 \quad \text{pour tous les } i \text{ allant de } 1 \text{ à } t_1;$$

$$N_{I-II} = (1/\partial) \sum (a_1 + b_1 x_i - y_i)^2 \quad \text{pour tous les } i \text{ allant de } t_1 + 1 \text{ à } t_2;$$

$$N_{I-III} = (1/\partial) \sum (a_1 + b_1 x_i - y_i)^2 \quad \text{pour tous les } i \text{ allant de } t_2 + 1 \text{ à } T;$$

où  $\partial$  = erreur-type de l'équation de régression au carré,

$t_1$  = numéro de l'observation correspondant au seuil entre les  
premier et deuxième régimes,

$t_2$  = numéro de l'observation correspondant au seuil entre les  
deuxième et troisième régimes,

$T$  = nombre total d'observations

sont distribuées indépendamment selon  $\chi^2$  avec des degrés de liberté de  $t_1 - 1$ ,  $t_2 - t_1 - 1$ ,  $T - t_2 - 1$  respectivement. Leur rapport, c'est-à-dire  $N_{I-I} / N_{I-II}$  et  $N_{I-I} / N_{I-III}$ , suivent la loi de Fisher avec les degrés de liberté donnés. Des rapports semblables sont obtenus en appliquant l'équation de régression pour le régime II aux observations de chacun des régimes. La même procédure est conservée pour le troisième régime. Les rapports "F" sont formés. Si un des six rapports établis excède la valeur critique de F, l'hypothèse d'une relation à un régime continu est rejeté.

La figure 2.9 illustre les équations de régression de chacun des trois régimes, alors que le tableau 2.6 résume les résultats de la vérification de la présence de régimes distincts des nouvelles données. Bien que visuellement on aperçoive trois régimes, la vérification statistique démontre le contraire.

De ce fait, il semble logique de supposer qu'entre 1 et 1.8 pers./m<sup>2</sup>, les passagers sont en "conditions de réajustement". La densité est telle qu'ils doivent réajuster leur vitesse de marche pour éviter le mieux possible les "obstacles" (objets ou passagers stationnaires). Dans ces conditions, la vitesse continue à diminuer avec toute augmentation de densité, mais de façon moins considérable que dans les autres régimes. Cependant, la différence entre les taux de décroissance de la vitesse des trois régimes (quelque soit la densité) n'est pas significative.

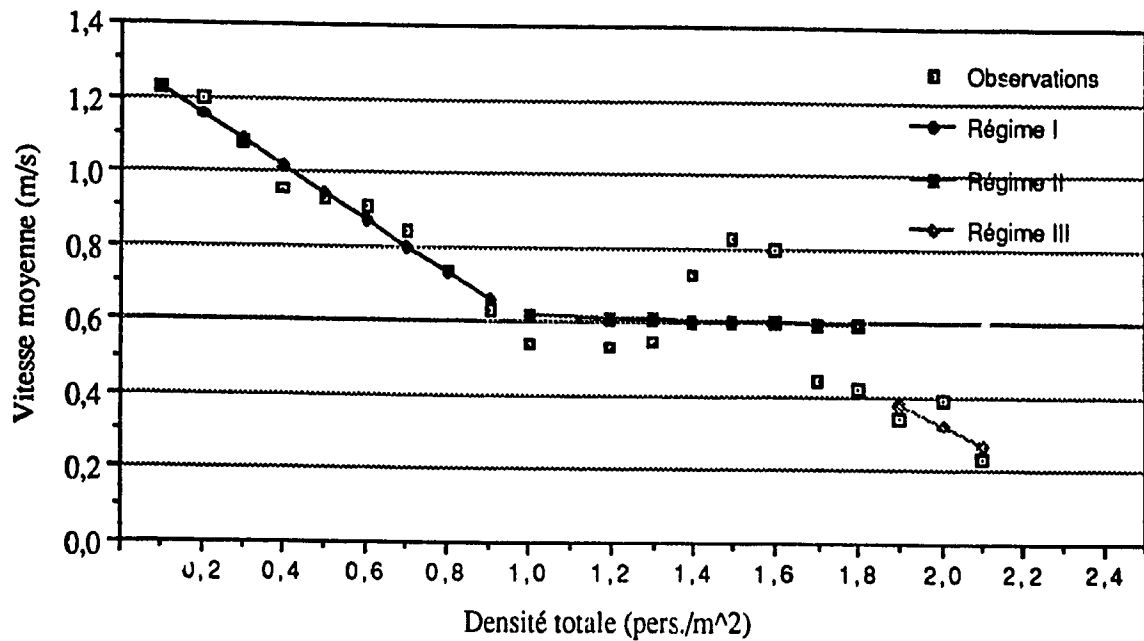


Figure 2.9 Modèle Linéaire à Trois Régimes non Distincts.

Des relations suivant les modèles choisis précédemment sont aussi développées grâce aux données agrégées. Le tableau 2.7 présente les résultats des divers tests statistiques effectués. Sur la base du coefficient de détermination, la relation linéaire à régime continu selon Greenshield semble mieux expliquer les données. C'est pourquoi cette relation est maintenant considérée pour fins de comparaisons.

Élaborée à partir de la régression linéaire, elle est comparée à la relation de Fruin (28) et au modèle à un régime de Polus et al. (30). La relation de Fruin est reconstituée grâce aux coefficients (de l'équation) tabulés par Pushkarev et Zupan (27).

Tableau 2.6 Vérification d'un Modèle Linéaire à Trois Régimes Distincts.

Régime I	Coefficients de la régression:	Erreur-type de la régression = 0.036 au carré = 0.0013
0.1 à 0.9 pers./m <sup>2</sup>	a1 = 1.298, b1 = -0.711	
$N_{I-I} = \frac{1}{0.0013} * (0.09) = 69.23$ $\frac{69.23}{(8)} = 0.07, \text{ plus petit que } F_{crit}$ $N_{I-II} = \frac{1}{0.0013} * (1.2709) = 977.61$ $\frac{977.61}{(7)} = 0.14, \text{ plus petit que } F_{crit}$ $N_{I-III} = \frac{1}{0.0013} * (0.6107) = 469.77$ $\frac{469.77}{(2)} = 0.14, \text{ plus petit que } F_{crit}$ <p>L'hypothèse d'un régime continu ne peut être rejetée.</p>		
Régime II	Coefficients de la régression:	Erreur-type de la régression = 0.171 au carré = 0.0029
1.0 à 1.8 pers./m <sup>2</sup>	a2 = 0.643, b2 = -0.027	
$N_{II-I} = \frac{1}{0.0029} * (1.175) = 40.18$ $\frac{6.05}{(7)} = 0.15, \text{ plus petit que } F_{crit}$ $N_{II-II} = \frac{1}{0.0029} * (0.177) = 6.05$ $\frac{40.18}{(8)} = 0.79, \text{ plus petit que } F_{crit}$ $N_{II-III} = \frac{1}{0.0029} * (0.222) = 7.59$ $\frac{6.05}{(7)} = 0.79, \text{ plus petit que } F_{crit}$ <p>L'hypothèse d'un régime continu ne peut être rejetée.</p>		
Régime III	Coefficients de la régression:	Erreur-type de la régression = 0.084 au carré = 0.007
1.9 à 2.1 pers./m <sup>2</sup>	a3 = 1.438, b3 = -0.557	
$N_{III-I} = \frac{1}{0.007} * (0.445) = 63.57$ $\frac{1}{(2)} = 0.01, \text{ plus petit que } F_{crit}$ $N_{III-II} = \frac{1}{0.007} * (0.325) = 46.42$ $\frac{63.57}{(8)} = 0.02, \text{ plus petit que } F_{crit}$ $N_{III-III} = \frac{1}{0.007} * (0.007) = 1$ $\frac{46.42}{(7)} = 0.02, \text{ plus petit que } F_{crit}$ <p>L'hypothèse d'un régime continu ne peut être rejetée.</p>		

La figure 2.10 compare graphiquement les trois relations linéaires de la vitesse moyenne (space-mean speed) et de la densité totale. D'après cette figure, il est clair que les conditions urbaines diffèrent des conditions aéroportuaires. De plus, cette comparaison permet de démontrer l'effet des densités formées de piétons en mouvement et celles formées de passagers stationnaires et en mouvement sur les vitesses de marche moyennes. Il semble que, pour une même vitesse, les conditions retrouvées devant les comptoirs d'enregistrement ne peuvent accepter des densités aussi fortes que celles constituées de piétons en mouvement. En d'autres termes, ces conditions sont sous-estimées si la planification ou la conception des espaces se fait selon les relations couramment employées.

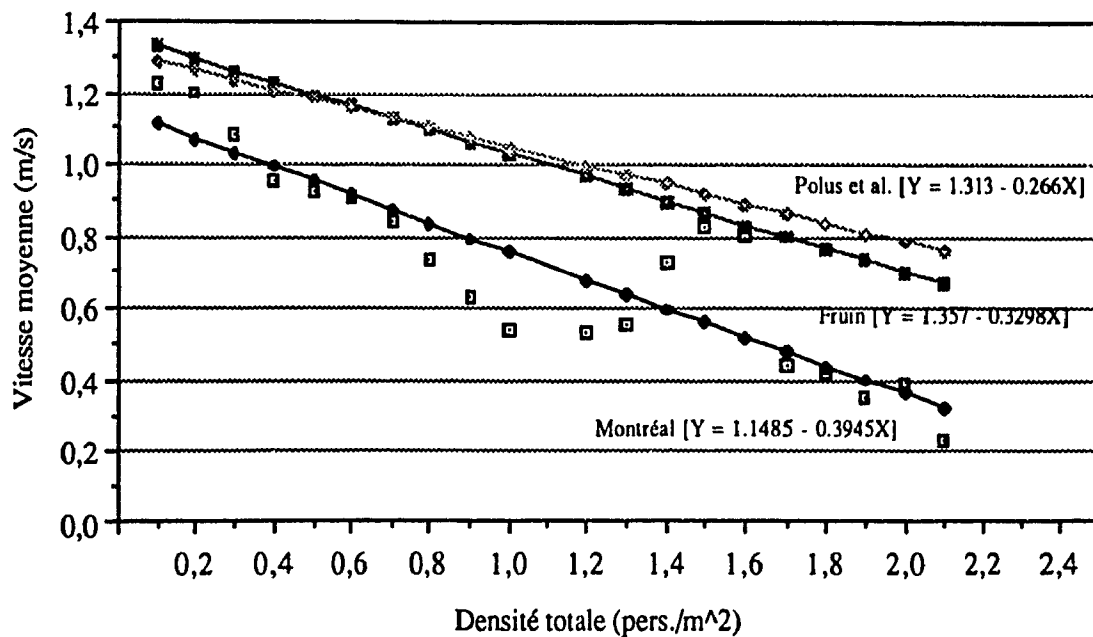


Figure 2.10 Comparaison des Relations Linéaires.



Tableau 2.7 Résultats des Analyses de Régression avec les Données Agrégées.

Modèles	Relations	F-test	T <sub>a</sub>	T <sub>b</sub>	R <sup>2</sup>	Erreur-Type	D-W
Linéaire, selon Greenshield	$Y = 1.1485 - 0.3945X$	65.397	18.643	-8.087	0.784	0.135	0.691
Exponentiel, selon Greenberg	$Y = 0.549\ln(0.22/X)$	33.744	16.142	5.808	0.652	0.372	0.733
Exp. Inv., selon Underwood	$Y = 0.5273 * e^{0.122/X}$	11.321	-6.216	3.365	0.386	0.357	0.814
Logarithmique	$Y = 0.614X - 0.4297$	34.369	-8.013	-5.863	0.656	0.267	0.719
Inverses	$Y = 0.5492 + 0.093/X$	21.410	9.684	4.627	0.543	0.197	0.609
Exponentiel	$Y = 1.28 * e^{-0.608X}$	57.085	2.433	-7.555	0.706	0.223	0.739

De plus, l'utilisation directe des niveaux de service peut ne pas mener à une estimation correcte des besoins spatiaux. Les figures 2.11a et 2.11b reprennent la comparaison de la figure 2.10, mais montrent les niveaux de service (en termes de densité) de Fruin et de l'IATA. Il est évident que la structure des niveaux de Fruin couvre une plus grande étendue de densités comparativement à celle de l'IATA. En effet, les seuils entre les niveaux A et B, puis E et F de Fruin (28) se situent à  $0.31 \text{ pers/m}^2$  et  $2 \text{ pers/m}^2$  respectivement. Les seuils de l'IATA sont à  $0.56 \text{ pers/m}^2$  et  $1 \text{ pers/m}^2$ . On dénote cependant que les normes de l'IATA sont plus restrictives, alors qu'elles permettent de plus petites densités.

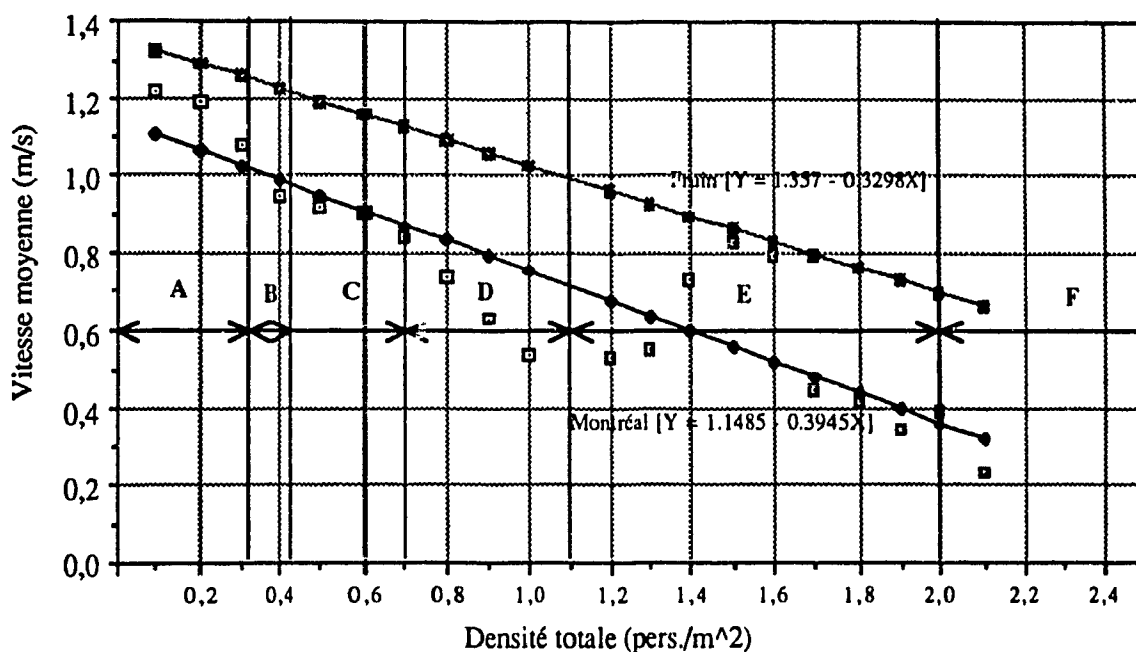


Figure 2.11a Comparaisons à l'Aide des Niveaux de Service Selon Fruin.

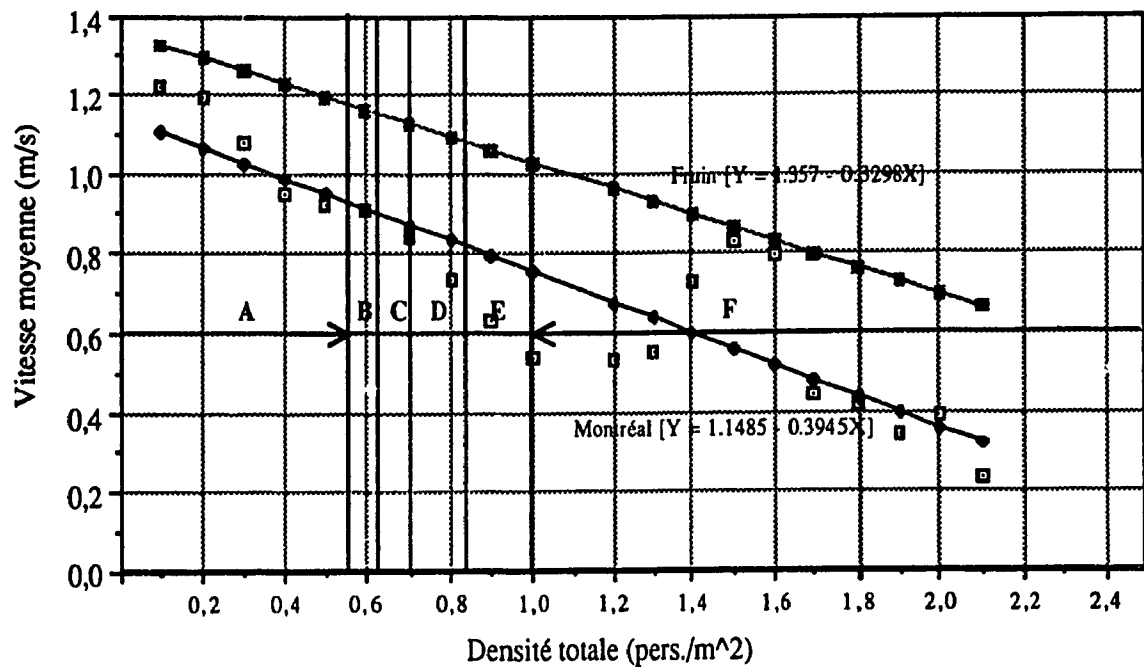


Figure 2.11b Comparaisons à l'Aide des Niveaux de Service Selon l'IATA.

Considérons maintenant la figure 2.12, alors que la structure des niveaux (en termes de densité et de vitesse) de Fruin (28) est illustrée.

Les rectangles apposés sur la relation de Fruin (28) représentent les différents niveaux. En prenant les seuils de densité des niveaux et en lisant les vitesses correspondantes, on remarque que:

1. pour le seuil entre A et B, la vitesse provenant de la relation de Montréal correspond au niveau D de Fruin;
2. pour les seuils entre B et C, C et D, et D et E, les vitesses correspondent au niveau E de Fruin;
3. pour le seuil entre E et F, la vitesse correspond au niveau F.

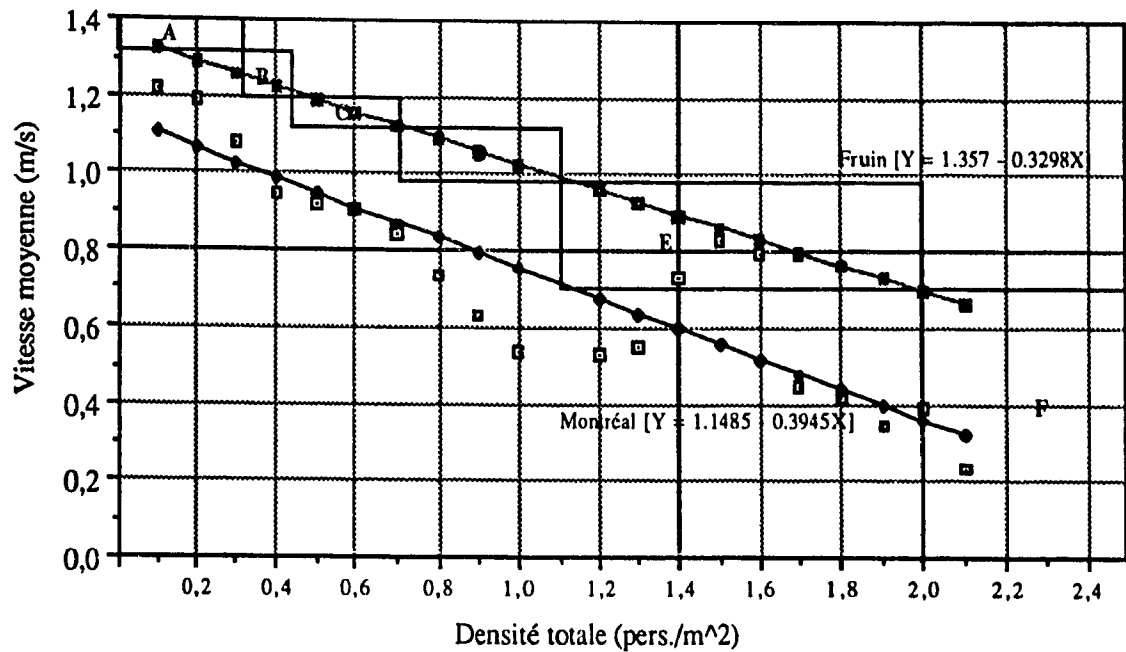


Figure 2.12 Structure des Niveaux de Service Selon Fruin.

Une comparaison des vitesses à la capacité montre que la vitesse selon la relation de Fruin ( $1.357/2 = 0.6785$  m/s) est 18% plus grande que la vitesse selon la relation de Montréal ( $1.148/2 = 0.574$  m/s). Également, la densité correspondante selon Fruin est 40% plus grande que celle selon Montréal (densité de Fruin =  $2.05$  pers/m<sup>2</sup>, densité de Montréal =  $1.46$  pers/m<sup>2</sup>). La densité à la capacité selon Montréal se rapproche de celle selon l'IATA, qui est de  $1$  pers/m<sup>2</sup>. Ainsi, on s'aperçoit que les niveaux de Fruin surestiment les performances des installations aéroportuaires.

Ces résultats expliquent bien la source des problèmes d'engorgement aux endroits de traitement où l'on retrouve des passagers (ou accompagnateurs) désireux de traverser l'aire d'attente. Les paragraphes suivants proposent une méthode de planification tenant compte de ce phénomène.

### 2.3 PLANIFICATION ET CONCEPTION DES ESPACES DE TRAITEMENT OÙ INTERAGISSENT OCCUPANTS STATIONNAIRES ET EN MOUVEMENT

Tout dépendant de l'installation à planifier ou à concevoir, le mixte d'occupants stationnaires et en mouvement varie. C'est habituellement devant les comptoirs d'enregistrement que le mixte est le plus sujet à changer et que, conséquence d'une mauvaise allocation de l'espace, la congestion se forme.

Il est possible, à partir de certains paramètres faciles à obtenir, de planifier adéquatement ce type d'endroits. En connaissant la proportion d'occupants stationnaires par rapport aux occupants en mouvement, les superficies minimales par occupant, selon qu'il est stationnaire ou en mouvement et qu'il pousse ou non un chariot à bagages, la portion d'occupants en mouvement avec chariot et la portion d'occupants stationnaires avec chariot, on peut déterminer le taux d'occupation optimale (ou maximale). L'expression suivante constitue ce taux:

$$(1) \quad O_o = \frac{1}{[AM_c Y + AM_s(1-Y)](1-X) + [AS_c Z + AS_s(1-Z)]X}$$

où  $O_o$  = taux d'occupation optimale (ou maximale) par m<sup>2</sup>,

$AM_c$  = superficie minimale d'un occupant en mouvement avec chariot,

$AM_s$  = superficie minimale d'un occupant en mouvement sans chariot,

$AS_c$  = superficie minimale d'un occupant stationnaire avec chariot,

$AS_s$  = superficie minimale d'un occupant stationnaire sans chariot,

$X$  = portion d'occupants stationnaires,

$Y$  = portion d'occupants en mouvement avec chariot,

$Z$  = portion d'occupants stationnaires avec chariot.

Si, par exemple, tous les occupants sont stationnaires, la variable  $X$  devient 1. Les termes reliés à la superficie des occupants en mouvements sont éliminés et le taux d'occupation optimale est déterminé à partir des superficies unitaires des occupants stationnaires. Par analogie, si tous les occupants sont en mouvement, le taux  $O_0$  ne considère que les superficies des occupants en mouvement.

Il est évident que dès que  $X$  prend une valeur inférieure à 1, il y a interaction entre occupants stationnaires et en mouvement. En d'autres termes, on retrouve une situation de mouvements d'entrecroisement. Il en résulte que la vitesse de marche de ces derniers en est affectée. Grâce aux paramètres reliés à la relation vitesse-densité, soit:  $U_f$ , la vitesse non contrainte et  $b$  (ou  $U_f/K_j$ ), la pente de la droite, on peut obtenir cette vitesse qui est exprimée comme suit:

$$(2) \quad V = U_f - bO_0 .$$

En considérant l'interaction des deux types d'occupants partageant un même endroit, on peut mieux refléter les conditions habituellement retrouvées devant les comptoirs d'enregistrement.

Une fois le taux d'occupation optimale déterminé, le processus de planification des besoins en installations peut se compléter en utilisant la structure de niveaux de service déjà existante. Bien que dans la section qui porte sur la révision de la littérature on ait critiqué les méthodes de détermination des niveaux de service et leur structure, ici son utilisation sert plutôt à exprimer chaque niveau par rapport à la capacité. L'idée principale derrière cette méthode de planification des espaces, est la considération des mouvements d'entrecroisement. Ainsi, les valeurs numériques délimitant chaque niveau ne sont pas employées comme tel dans l'établissement des espaces requis.

Prenons en exemple les normes de l'IATA montrées au tableau 2.1 et considérons plus spécifiquement celles relatives aux comptoirs d'enregistrement. L'espace alloué par occupant est inversé pour obtenir la densité. Les résultats de la transformation donnent ce qui suit:

Limite inférieure du Niveau A : 0.56 pers./m<sup>2</sup> [1.8 m<sup>2</sup>/pers.]

Limite inférieure du Niveau B : 0.63 pers./m<sup>2</sup> [1.6 m<sup>2</sup>/pers.]

Limite inférieure du Niveau C : 0.71 pers./m<sup>2</sup> [1.4 m<sup>2</sup>/pers.]

Limite inférieure du Niveau D : 0.83 pers./m<sup>2</sup> [1.2 m<sup>2</sup>/pers.]

Limite inférieure du Niveau E : 1.00 pers./m<sup>2</sup> [1.0 m<sup>2</sup>/pers.]

La densité correspondant au niveau A représente 56% (0.56/1.0) de la densité à la capacité (densité du niveau E). Semblablement, les densités correspondant aux niveaux B, C et D équivalent à 63%, 71% et 83% de la densité à la capacité.

En connaissant le taux d'occupation optimale correspondant au mixte spécifique d'occupants, la densité à employer lors de la planification des installations, qui dépend du niveau de service pour lequel on veut concevoir, est calculée. Les prochains paragraphes décrivent les étapes du processus de planification des espaces devant les comptoirs d'enregistrement. L'exemple de l'aéroport de Montréal (Dorval) y est présenté.

### 2.3.1 Étapes du processus de planification - Exemple: Aéroport de Montréal à Dorval -

#### Étape 1. Établir le mixte d'occupants stationnaires et d'occupants en mouvement.

Dans le cas d'une aérogare déjà existante, le mixte est établi suite à des observations faites sur les lieux lors des périodes critiques. Il importe de souligner qu'à l'intérieur d'une aérogare, le mixte peut ne pas être le même pour tous les endroits où l'on effectue l'enregistrement. Les installations d'enregistrement d'un transporteur aérien peuvent se trouver plus près des concessions, alors que celles d'un second transporteur peuvent être situées au milieu ou à l'extrémité d'un corridor. Les débits de piétons (occupants en mouvement) diffèrent.

Dans un cas de conception de nouvelles installations (nouvel aéroport), l'établissement du mixte repose sur des hypothèses quant aux débits anticipés et des volumes prévus de passagers (occupants) qui utiliseront ces installations.

À Dorval, à la période de pointe et à l'endroit où les observations furent effectuées, le mixte "X" était constitué d'environ 95% d'occupants stationnaires et de 5% d'occupants en mouvement ( $X = 0.95$ ).

#### Étape 2. Déterminer les superficies minimales par occupant.

Les superficies minimales équivalent aux superficies que l'on retrouve à la capacité. Elles varient selon que l'occupant soit stationnaire ou en mouvement et aussi selon que l'occupant soit avec ou sans chariot à bagages.

Les superficies pour occupants stationnaires sont calculées à partir de la largeur type d'un occupant (passager) incluant ses bagages. Si l'occupant est avec un chariot, la longueur standard des bagages est considérée comme largeur, puisque ces derniers sont



déposés de façon transversale sur le chariot. La "longueur" d'un passager correspond à la longueur des bagages qu'il transporte à ses côtés (dans le cas d'un occupant sans chariot) ou à la longueur du chariot, plus la profondeur type d'une personne.

Les dimensions employées pour le présent exemple sont tirées de l'étude de Davis & Braaksma (35) et du "Transportation and Traffic Engineering Handbook" de l'ITE (49). La figure 2.13 illustre les dimensions employées pour la détermination des superficies unitaires  $AS_C$  et  $AS_S$ . La superficie  $AS_C$  est le produit de 1.570 m et 0.64 m et égale **1.0048 m<sup>2</sup>/pers.** La superficie  $AS_S$  pour un passager sans bagage est le produit de 0.610 m et 0.460 m et égale 0.281 m<sup>2</sup>/pers. Également, les superficies  $AS_S$  pour un passager avec 1 et 2 bagages sont de 0.499 m<sup>2</sup>/pers et 0.608 m<sup>2</sup>/pers respectivement. Dans l'exemple de Dorval, la moyenne des  $AS_S$  est utilisée, soit **0.463 m<sup>2</sup>/pers.**

Les superficies pour passagers en mouvement sont, quant à elles, calculées à partir de la largeur typique d'un passager (tel que spécifié précédemment) et d'une longueur incluant la longueur spécifiée plus haut ainsi qu'une zone tampon. Cette approche est fortement inspirée du travail de Davis & Braaksma (35), car ils sont les premiers à avoir étudié les débits de passagers dans les aéroports et à tenir compte de l'effet d'encombrement des chariots et des bagages sur la vitesse de marche. Leur relation polynomiale entre la vitesse et l'intervalle de temps est employée. Elle est transformée à l'aide de la fonction suivante existant entre la vitesse, l'intervalle de temps et l'intervalle d'espace:

$$(3) \quad h_t = h_d / V \quad \text{où} \quad \begin{aligned} h_t &= \text{intervalle de temps (en sec.),} \\ h_d &= \text{intervalle d'espace (en mètres) et} \\ V &= \text{vitesse de marche (m/sec).} \end{aligned}$$

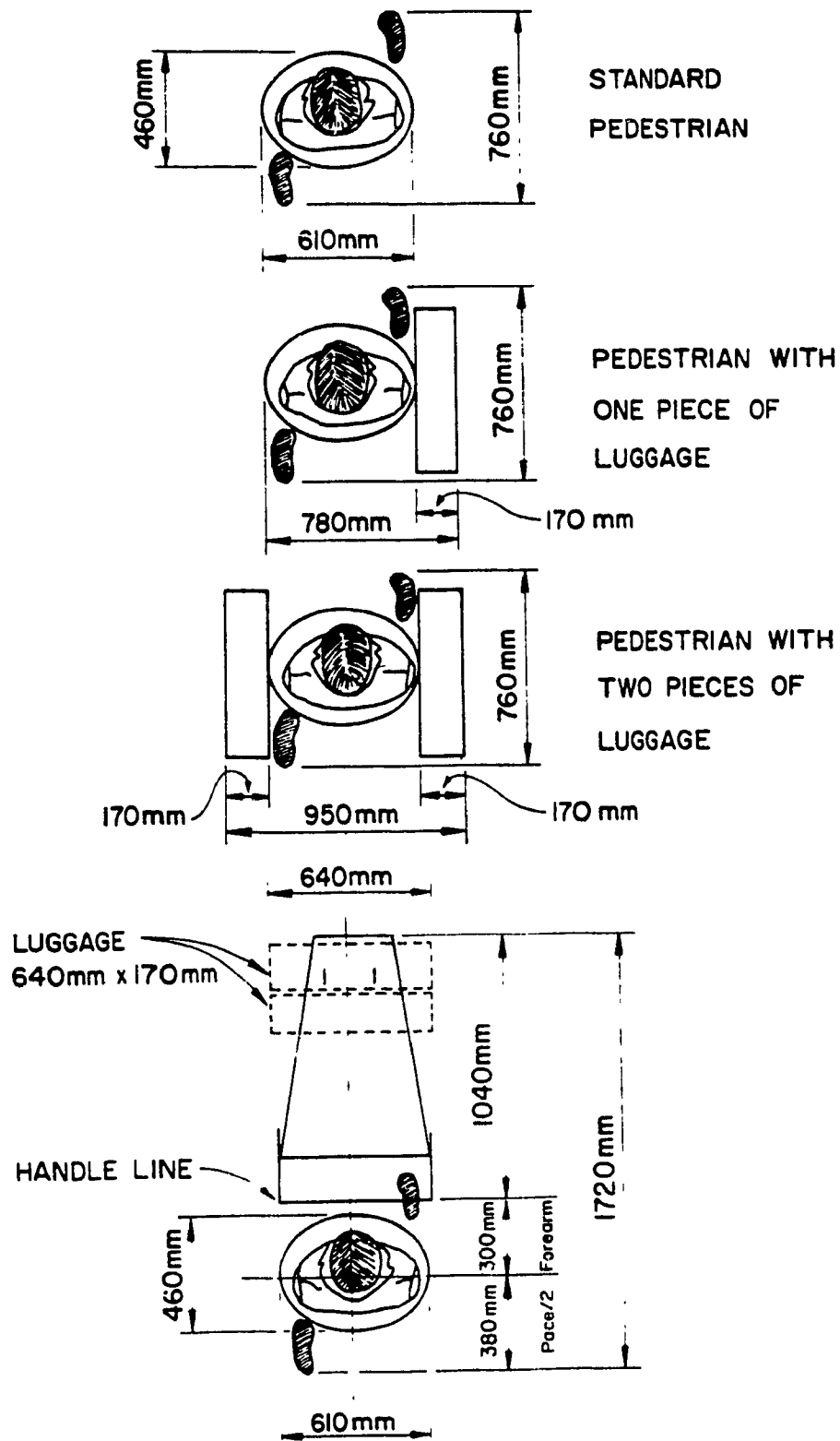


Figure 2.13 Dimensions Typiques de passagers (Réf. 35)

Une relation polynomiale fut définie dans le cas où les passagers poussent un chariot et une autre dans celui où les passagers portent leurs bagages. Voici ces relations et leur transformation:

Passagers avec chariot:

$$(4) \quad h_t = 5.842 - 6.642V + 3.824V^2$$

$$(5) \quad h_d = 5.842/V - 6.642 + 3.824V$$

Passagers sans chariot (portant leurs bagages):

$$(6) \quad h_t = 7.469 - 12.995V + 6.843V^2$$

$$(7) \quad h_d = 7.469/V - 12.995 + 6.843V$$

Il est à noter que ces relations décrivent les caractéristiques des passagers à l'arrivée, mais nous les utilisons pour les besoins du présent exemple.

Puisque nous cherchons, pour un mixte spécifique d'occupants (passagers) stationnaires et en mouvement, la densité optimale, la vitesse employée dans la détermination de l'intervalle de distance doit être celle correspondant à la capacité dans la relation linéaire de la vitesse-densité.

Dans l'exemple de Dorval, d'après la figure 2.10, la vitesse à la capacité est de 0.57 m/s (vitesse non contrainte/2). En substituant V pour cette valeur dans les équations 5 et 7 et en multipliant l'intervalle de distance par la largeur typique d'un passager, on obtient la superficie unitaire pour un occupant (passager) en mouvement. Ainsi, pour un passager poussant un chariot, la superficie  $AM_c$  est de **3.71 m<sup>2</sup>/pers** (5.79 m/pers \* 0.64 m/pers). Également, pour un passager portant ses bagages, la superficie  $AM_s$  est de **3.13 m<sup>2</sup>/pers** (4.01 m/pers \* 0.78 m/pers). Comme pour la superficie d'un passager stationnaire, 0.78 m représente une largeur moyenne.

Étape 3. Déterminer les portions de passagers en mouvement poussant un chariot et de passagers stationnaires avec un chariot.

Pour Dorval, supposons que:

la portion de passagers en mouvement avec chariot,  $Y = 0.02$  et que

la portion de passagers stationnaires avec chariot,  $Z = 0.10$ .

Note: ces chiffres représentent les observations effectuées lors de l'enquête.

Étape 4. Identifier les coefficients conventionnels de la relation linéaire vitesse-densité.

Selon la figure 2.10, les coefficients sont les suivants:

vitesse non contrainte,  $U_f = 1.1485$  et

pente de la relation,  $b = 0.3945$ .

Étape 5. Déterminer la densité optimale et la vitesse correspondante pour les occupants en mouvement.

Les paramètres des équations (1) et (2) sont maintenant connus. Il suffit de les incorporer dans les équations pour obtenir la densité optimale et la vitesse des passagers en mouvement. Alors, la densité optimale est de 1.5422 pers./m<sup>2</sup> et la vitesse, 0.54 m/s. Il est à noter que cette vitesse de 0.54 m/s se rapproche de la vitesse employée à l'étape 2, puisque le mixte de 0.95 représente la situation réelle lors de la prise d'observations et que la relation linéaire vitesse-densité est dérivée de ces observations.

En gardant certains autres paramètres inchangés, il est aussi possible d'examiner l'effet de la variation du mixte sur le taux d'occupation optimale. Les figures 2.14a et 2.14b montrent, de façon générale, que plus le nombre de passagers stationnaires

augmente, plus le taux d'occupation augmente. La relation entre le taux d'occupation et le mixte ne peut être optimisée (à l'aide des dérivées de fonctions) pour trouver le mixte optimal. Cependant, d'après un examen visuel, il est permis de supposer que c'est à partir d'environ 80% (de passagers stationnaires) que le taux d'augmentation de la densité s'accroît.

Il est aussi intéressant de remarquer l'impact des passagers avec chariots. D'après la figure 2.14a, l'augmentation de la proportion de passagers en mouvement avec chariot (Y) affecte peu l'allure de la variation du taux d'occupation selon le mixte de passagers (X). Aussi, les petites différences s'atténuent à mesure que la proportion de passagers stationnaires croît. Cependant, tel que l'indique la figure 2.14b, la variation du nombre de passagers stationnaires avec chariot (Z) aura un impact un peu plus considérable. Et dans ce cas-ci, les différences s'accroissent avec l'augmentation de la proportion de passagers stationnaires.

Reprenons l'exemple de Dorval, mais considérons cette fois-ci deux mixtes: un de 75% et l'autre de 80%. Avec le premier mixte, la densité optimale est de 0.852 pers./m<sup>2</sup>. Le second mixte produit une densité de 0.959 pers./m<sup>2</sup>. Empruntons maintenant comme base de calcul pour la détermination de la densité au niveau de service désiré la structure des normes de l'IATA. Supposons aussi que nous sommes intéressés à planifier pour un niveau "C". La densité à employer dans le premier cas est de  $0.852 * 71\%$ , soit 0.60 pers./m<sup>2</sup> [1.65 m<sup>2</sup>/pers.] et dans le deuxième,  $0.959 * 71\%$ , soit 0.68 pers./m<sup>2</sup> [1.47 m<sup>2</sup>/pers.].

Cet exemple démontre clairement la différence dans les densités à employer pour deux mixtes relativement peu différents. Il est alors important de considérer l'interaction des différents types d'occupants lors de la planification des espaces prévus aux installations d'enregistrement.

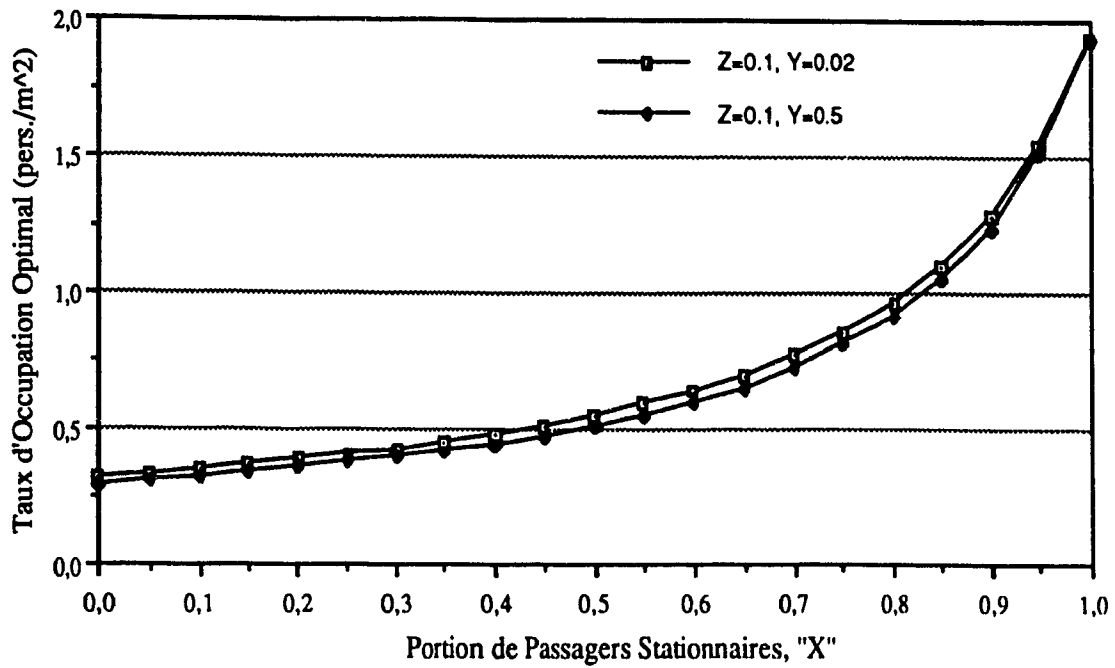


Figure 2.14a Effet du Mixte d'Occupants et de passagers en mouvement avec chariot.

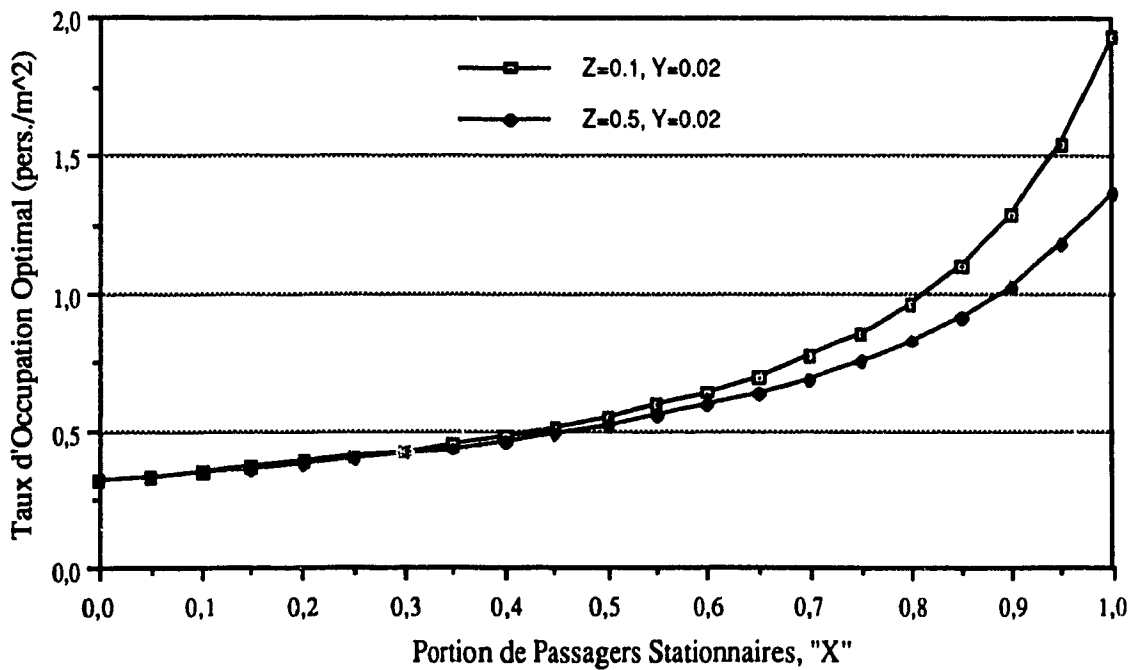


Figure 2.14b Effet du Mixte d'Occupants et de Passagers Stationnaires avec Chariots.

## 2.4 SYNTHÈSE

Ce chapitre retrace l'évolution du fondement des normes d'espace employées pour la conception ou l'évaluation des aéro-gares. Il soulève un problème fondamental dans l'élaboration de ces normes. Le problème énoncé se situe au niveau des relations vitesse-densité qui forment la base des normes d'espace.

Selon les tests statistiques effectués, la relation suivant le modèle exponentiel de Greenberg semble représenter le mieux les observations.

Une comparaison de relations linéaires démontre l'importance de la considération d'interaction entre passagers en mouvement et stationnaires, lors de la conception d'installations de traitement.

Enfin, la méthode proposée de planification des espaces considère principalement le mixte des deux différents types de passagers. L'exemple présenté confirme l'importance de leur interaction.

Alors que les normes d'espace sont particulièrement importantes lors de la conception, la qualité du service offert aux passagers l'est tout autant lors de l'évaluation. Des installations répondant aux attentes des usagers de l'aéroport projeteront une meilleure image de celui-ci. La satisfaction des usagers peut, en retour, contribuer à l'apport de recettes supplémentaires. Le chapitre suivant est dédié à la qualité de service et aux facteurs l'influençant.

## CHAPITRE 3.0 FACTEURS INFLUENCANT LA QUALITÉ DE SERVICE

La qualité de service est une vague notion. Elle est composée de divers critères dont l'importance varie selon le groupe d'utilisateurs concerné. Dans un aéroport, il existe trois grandes catégories d'utilisateurs: le passager, qui est la source principale de revenus, le transporteur aérien et le concessionnaire. Les besoins de l'un vont à l'encontre de ceux de l'autre. Par exemple, le transporteur aérien désire avoir le plus de façade possible, accompagnée d'une grande superficie devant ses comptoirs d'enregistrement pour des raisons de marketing; alors que le concessionnaire désire un espace alloué où l'achalandage est élevé, dans le but de rapporter des revenus. Aussi, les transporteurs et concessionnaires désirent un service courtois de la part des groupes opérationnels de l'aéroport, tandis que le passager s'attend à un aussi bon service de la part du transporteur.

La présente recherche examine, d'une façon détaillée, la perception (ou les besoins) des passagers envers la qualité de service offert par un aéroport. La perception des autres clients de l'aéroport pourrait éventuellement faire l'objet d'études futures.

### 3.1 RÉVISION DE LITTÉRATURE

Les éléments les plus déterminants dans une évaluation de la qualité de service d'installations urbaines et terminales sont trouvés à l'aide de sondages. Les enquêtes par sondages auprès des passagers (et piétons) permettent une meilleure interprétation de la capacité des installations individuelles en établissant un rapport entre les niveaux imposés de demande et les mesures pertinentes de service. Weinstein (50) a expliqué l'utilité des sondages et en décrit les principaux avantages.

Une méthode d'évaluation, cette fois proposée par Mumayiz (51), apporte un nouvel aspect au concept de N. de S. Par le biais d'enquêtes par sondages le modèle de Mumayiz relie la perception que les passagers ont vis-à-vis des niveaux de service et le



temps qu'ils ont passé à l'intérieur de divers systèmes opérationnels (c.à.d. installations de traitement). Le fondement de cette méthodologie illustre l'intégration du point de vue des passagers dans le processus d'évaluation des N. de S.; cependant, elle suppose que le temps est la seule mesure pouvant représenter les besoins réels des passagers.

Du point de vue de l'ingénieur en transports, le temps et l'espace sont deux mesures quantitatives faciles à manipuler autant en théorie qu'en pratique. Toutefois, la complexité des processus entiers d'embarquement et de débarquement impose l'intégration de facteurs quantitatifs comme la distance à marcher, les changements de niveaux, le temps d'attente, etc. aussi bien que qualitatifs, comme la courtoisie du personnel, les systèmes d'information, l'ambiance, etc. Dans l'évaluation de la Q. de S. Heathington et Jones (52) ont proposé une liste détaillée de facteurs pouvant refléter les différents besoins du passager. Il est néanmoins nécessaire de bien comprendre l'attitude du passager afin d'identifier l'ensemble le plus approprié de facteurs qui servira éventuellement dans l'estimation de la Q. de S. de l'aérogare.

Condom (53) a mené une des rares enquêtes de grande envergure auprès des passagers. Son travail mettait partiellement en lumière la question de leurs besoins et indiquait par le fait même que la Q. de S. d'une aérogare devait être définie en termes de facteurs autres que simplement l'espace.

Les paragraphes qui suivent visent à présenter les résultats non pondérés d'un sondage exécuté auprès des passagers. Beaucoup de précautions ont été prises afin d'éviter les biais typiquement reliés à la collecte des données.

Il est important de se rappeler que ces résultats ne s'appliquent que pour l'aéroport de Dorval, en raison des particularités des caractéristiques qui le composent et des populations servies à cet aéroport.

### 3.2 PROCÉDURE DE LA CUEILLETTE DE DONNÉES

Une enquête par sondage auprès des passagers semble être la méthode de collecte des données la plus appropriée pour atteindre le deuxième objectif de cette recherche (identifier les facteurs qui, selon les passagers, ont le plus d'influence sur la performance de l'aérogare). Les données sont recueillies en deux étapes. Une enquête-pilote est employée (a) pour déterminer les facteurs importants, (b) pour étudier le comportement des passagers vis-à-vis la personne qui interview et du questionnaire (genre de questions posées et longueur) et (c) pour déceler toute bévue dans le questionnaire. Une enquête finale sert à examiner le degré d'importance de ces facteurs en fonction de différentes variables fixes caractérisant le passager et son déplacement (par ex. son sexe, son âge, le motif de son déplacement et le temps passé à l'intérieur de l'aérogare). Seuls les passagers provenant de l'aéroport international de Montréal à Dorval, Québec, sont étudiés.

Les passagers à l'arrivée (ayant pour destination Montréal) ont des comportements et des perceptions différentes de ceux à l'embarquement. Il est alors nécessaire de les étudier séparément.

Pour situer le lecteur quant à l'achalandage de l'aéroport de Montréal à Dorval, en 1989, le nombre total de passagers provenant et terminant leur déplacement aérien à l'aéroport était de 6 461 300. De ce nombre de passagers, 47% ont voyagé sur des vols intérieurs, 30% sur des vols transfrontaliers, 4% sur des vols nolisés et 19% sur transporteurs régionaux ou locaux.

### 3.3 ENQUETE-PILOTE

Bien qu'utilisée comme outil de sélection des facteurs d'influence, l'enquête-pilote se veut d'abord un outil d'expérimentation par lequel toute bévue serait susceptible d'être décelée.

Le questionnaire est basé sur les caractéristiques de la qualité de service évoquées par Heathington & Jones (52) et suggère une série de facteurs pour chaque élément de l'aérogare relié au processus d'embarquement des passagers. Pour chacun de ceux-là, le passager interviewé exprime ses besoins en classant les facteurs par ordre d'importance relative. Une analyse des résultats de plusieurs tests statistiques exécutés avec le logiciel MINITAB sur les données recueillies permet d'isoler les facteurs à considérer dans le questionnaire final.

Dans l'ensemble, le sondage fut assez bien perçu par les passagers. Les interviews avaient lieu dans les salles de départ, alors que ces derniers attendaient l'appel d'embarquement. D'ailleurs, c'est aussi dans ces salles que le sondage de l'enquête finale fut effectué. La salle de départ, à l'exception des passerelles d'embarquement, est le dernier élément d'acheminement du passager dans l'aérogare; ainsi, l'identification des facteurs qui influencent la perception globale des passagers sur l'ensemble des activités encourues est possible. De plus, la majeure partie des activités de traitement étant terminées, le niveau de stress associé au peu d'expérience de certains passagers est moins éminent; cela permet d'obtenir des réponses reflétant leur opinion de façon plus juste.

Trois remarques sont notées suite au déroulement du sondage: (1) la longueur du questionnaire était généralement acceptable compte tenu des réactions des passagers; (2) certains questionnaires étaient incomplets et/ou les réponses étaient inacceptables; et (3) certains passagers avaient de la difficulté à comprendre les questions. Or, pour l'enquête finale, il fallait modifier le questionnaire de façon à ce que le nombre de questions soit plus petit, que les questions soient beaucoup plus claires et simples et que le choix de réponses soit plus évident.

L'emploi de la distribution de student (test pour t) sur les différences entre les rangs obtenus des facteurs originellement suggérés permet de réduire le nombre de choix de

réponses (ou le nombre de facteurs influençant la qualité du service). Les facteurs dont le rang est significativement différent du facteur occupant la première place (premier rang) sont éliminés.

### 3.4 ENQUETE FINALE

Afin d'assurer une bonne compréhension des questions de la part du passager, une équipe d'enquêteurs entraînés a été formée pour le sondage final. Le but de l'étude et l'importance de chaque question furent bien expliqués.

#### 3.4.1 Questionnaire

De l'enquête finale, sur les 249 passagers interviewés, les réponses de 227 passagers sont conservées pour analyse subséquente; les autres sont rejetées, soit parce que des réponses étaient non appropriées ou parce que le questionnaire était incomplet. Ces 227 passagers regroupent dix vols différents (intérieurs et transfrontaliers) et représentent 2.53% du nombre total de passagers en partance (8980 pax.) cette journée. L'enquête est limitée à une seule journée de semaine, en mi-juillet, période pendant laquelle Québec fête les vacances de la construction. Les périodes de pointe du matin et de l'après-midi sont toutes deux couvertes en partie.

Le questionnaire final, montré à la figure 3.1, était bâti de façon à reconnaître les trois catégories d'éléments (ou de fonctions) de l'aérogare et permettait aussi de recueillir les renseignements relatifs au profil du passager, soit son sexe, son âge, le motif de son déplacement, le temps passé dans l'aérogare, le numéro de son vol ainsi que la barrière d'embarquement.

**ÉTUDE SUR LA QUALITÉ DE SERVICE**  
auprès des passagers à l'embarquement  
**AÉROPORT DE MONTRÉAL (DORVAL)**

1) À quelle heure êtes-vous arrivé à l'aéroport ? \_\_\_\_\_

2) À quelle heure le départ de votre vol est-il prévu ? \_\_\_\_\_

3) Quelle est la raison principale de votre déplacement aujourd'hui ?

Affaires .....1  
Plaisirs .....2

4) Dans quel groupe d'âge appartenez-vous ?

moins de 20 ans .....1  
de 20 ans à 29 ans .....2  
de 30 ans à 49 ans .....3  
de 50 ans à 59 ans .....4  
60 ans et plus .....5

5) Inscrire le sexe:

Féminin .....1  
Masculin .....2

**PARTIE A: CIRCULATION**

Cette partie se réfère aux endroits où vous circulez, i.e. des portes d'entrée aux comptoirs d'enregistrement, des comptoirs aux postes de fouille, des postes de fouille aux barrières, etc...

6) Selon vous, parmi les facteurs suivants, lequel influence le plus la qualité de service ?

Distance à marcher .....1  
Information (auditive, écrite) .....2  
Disponibilité de l'espace .....3  
Changements de niveaux .....4

**PARTIE B: AIRES D'ATTENTE**

Cette partie se réfère aux endroits où vous attendez et inclue, les aires d'attente publiques, les salles de départ et les concessions (i.e. restaurants, boutiques, bars, etc...)

7) Selon vous, parmi les facteurs suivants, lequel influence le plus la qualité de service ?

Disponibilité des sièges .....1  
Diversité et emplacement des concessions et services essentiels  
(abreuvoirs, toilettes, etc...) .....2  
Ambiance intérieure .....3

**PARTIE C: ACTIVITÉ D'ACHEMINEMENT**

Cette partie se réfère aux activités de traitement et inclue, les comptoirs d'achat de billets et d'enregistrement, les postes de fouille et l'immigration.

8) Selon vous, parmi les facteurs suivants, lequel influence le plus la qualité de service ?

Temps d'attente .....1  
Commodité (maniement des bagages) .....2  
Disponibilité de l'espace .....3

Figure 3.1 Questionnaire final.

Pour chacune des trois parties représentant les fonctions de l'aérogare, une question générale demandait au passager d'identifier le facteur parmi ceux suggérés, qu'il ou elle percevait comme ayant le plus d'influence sur la performance de l'élément en cause [CIRCULATION, AIRES D'ATTENTE ou ACTIVITÉS D'ACHEMINEMENT (ou de traitement)]. Le tableau 3.1 décrit les facteurs suggérés pour chaque élément et les définitions suivantes sont fournies aux répondants à titre d'explications:

- (a) CIRCULATION: inclut tous les endroits où les passagers circulent, c'est-à-dire les corridors reliant les activités d'acheminement.
- (b) AIRES D'ATTENTE: incluent les aires d'attente publiques, les salles de départ et les concessions (c'est-à-dire restaurants, bars, boutiques, etc.).
- (c) ACTIVITÉS D'ACHEMINEMENT: incluent l'achat des billets, l'enregistrement, le poste de fouilles et l'immigration.

### 3.4.2 Analyse des résultats

Les réponses des passagers sont codées et analysées avec le logiciel SAS. L'analyse consiste principalement à exécuter des tests statistiques sur des proportions ou fréquences en nombre absolu (puisque les répondants n'identifiaient que le facteur le plus significatif pour chaque élément) et à élaborer des modèles expliquant le mieux possible les différences entre les réponses. Dans son ensemble, l'analyse comprend six étapes: (a) l'examen des caractéristiques de l'échantillon; (b) l'examen des perceptions générales; (c) les comparaisons statistiques des votes reçus par les facteurs; (d) l'examen des mesures d'association entre variables; (e) l'élaboration des modèles; et (f) la détermination de l'ensemble des facteurs influençant la performance de l'aérogare.

Tableau 3.1 Description des Facteurs Suggérés dans le Questionnaire Final

Éléments	Facteurs	Description
Circulation	Distance à Marcher Information Espace Changements de Niveau	Distance totale nécessaire à marcher à l'intérieur de l'aérogare. Signalisation intérieure, information visuelle et auditive. Espace disponible pour circuler aisément. Changements en utilisant escaliers, ascenseurs ou escaliers mobiles.
Aires d'Attente (exclues aires d'attente pour traitement)	Disponibilité des Sièges Concessions Ambiance Intérieure	Nombre de sièges disponibles pour s'asseoir. Diversité et emplacement des concessions. Apparence de l'environnement intérieur, propreté, aération, décor, etc.
Activités d'Acheminement	Temps d'Attente Commodités Espace	Temps passé à attendre avant d'être servis. Hauteur des comptoirs et présence (ou disponibilité) des chariots pour bagages. Espace disponible dans l'aire d'enregistrement.

### (a) CARACTÉRISTIQUES DE L'ÉCHANTILLON

Le tableau 3.2 montre les caractéristiques principales de l'échantillon de passagers interviewés. Des 227 passagers choisis au hasard, 68% étaient de sexe masculin et 32% de sexe féminin. À comparer aux femmes, une grande proportion d'hommes voyageaient pour affaires. D'après le tableau 3.2, il est aussi apparent que 47% des passagers sont âgés entre 30 et 49 ans. Même si l'intervalle de 30 à 49 ans est deux fois plus grand que les autres intervalles d'âge, la proportion des répondants appartenant à cette catégorie dépasse de plus de deux fois celle appartenant aux autres catégories. Dans cette catégorie, la plupart

des gens voyageaient pour affaires, alors que la majorité des passagers âgés de 60 ans et  
 Tableau 3.2 Caractéristiques de l'échantillon.

Grandeur de l'échantillon : 227 passagers	
Motif du déplacement:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travail : 46% (105)*</li> <li>- Loisirs : 54% (122)</li> </ul>
Sexe:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Femmes : 32% (73)</li> <li>- Hommes : 68% (154)</li> </ul>
Age:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Moins de 20 ans : 5% (11)</li> <li>- 20 à 29 ans : 17% (38)</li> <li>- 30 à 49 ans : 47% (107)</li> <li>- 50 à 59 ans : 15% (34)</li> <li>- 60 ans et plus : 16% (37)</li> </ul>
Motif et sexe:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travail — Femmes : 6% (13)</li> <li>- Travail — Hommes : 41% (92)</li> <li>- Loisirs — Femmes : 27% (60)</li> <li>- Loisirs — Hommes : 27% (62)</li> </ul>
Motif et âge:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Travail — Moins de 20 ans : 1% (2)</li> <li>- Travail — 20 à 29 ans : 6% (14)</li> <li>- Travail — 30 à 49 ans : 29% (66)</li> <li>- Travail — 50 à 59 ans : 6% (13)</li> <li>- Travail — 60 ans et plus : 4% (10)</li> <li>- Loisirs — Moins de 20 ans : 4% (9)</li> <li>- Loisirs — 20 à 29 ans : 11% (24)</li> <li>- Loisirs — 30 à 49 ans : 18% (41)</li> <li>- Loisirs — 50 à 59 ans : 9% (21)</li> <li>- Loisirs — 60 ans et plus : 12% (27)</li> </ul>

\* Les chiffres entre parenthèses représentent la fréquence en nombre absolus.



plus voyageaient pour loisirs. Quant au motif du déplacement, 54% des passagers voyageaient pour loisirs. Il faut souligner qu'à la période pendant laquelle l'enquête fut effectuée, plusieurs personnes étaient en vacances, ce qui explique le fort taux de voyageurs pour loisirs.

### **(b) PERCEPTIONS GÉNÉRALES**

Les figures 3.2, 3.3 et 3.4 montrent les facteurs perçus par les passagers comme ayant le plus d'influence sur la performance de l'aérogare:

- (a) pour l'élément CIRCULATION, le facteur Information est choisi par 120 (53%) répondants;
- (b) pour l'élément AIRES D'ATTENTE, le facteur Disponibilité des Sièges est choisi par 99 (44%) répondants; et
- (c) pour l'élément ACTIVITÉS D'ACHEMINEMENT, le facteur Temps d'attente est choisi par 136 (60%) répondants.

Cependant, l'importance relative des facteurs dans un même élément diffère d'un élément à l'autre. Par exemple, lorsqu'on considère l'élément CIRCULATION, la figure 3.2 indique que 53% des gens perçoivent l'Information comme étant le facteur le plus important, alors que 38% choisissent la Distance à Marcher. L'Espace Disponible n'est certainement pas un facteur aussi important qu'on le supposait, car seulement 6% des répondants l'identifient comme étant le plus important. Finalement, les Changements de Niveaux sont considérés important par 3% des passagers.

Quant aux AIRES D'ATTENTE, le partage des votes entre les facteurs est moins marqué que pour l'élément précédent. À la figure 3.3, on constate que la Disponibilité des Sièges est le facteur le plus important pour 44% des passagers interviewés, tandis que la diversité et l'emplacement des Concessions sont perçus comme étant plus importants pour 34% des passagers. Le facteur Ambiance Intérieure reçoit 22% des votes.

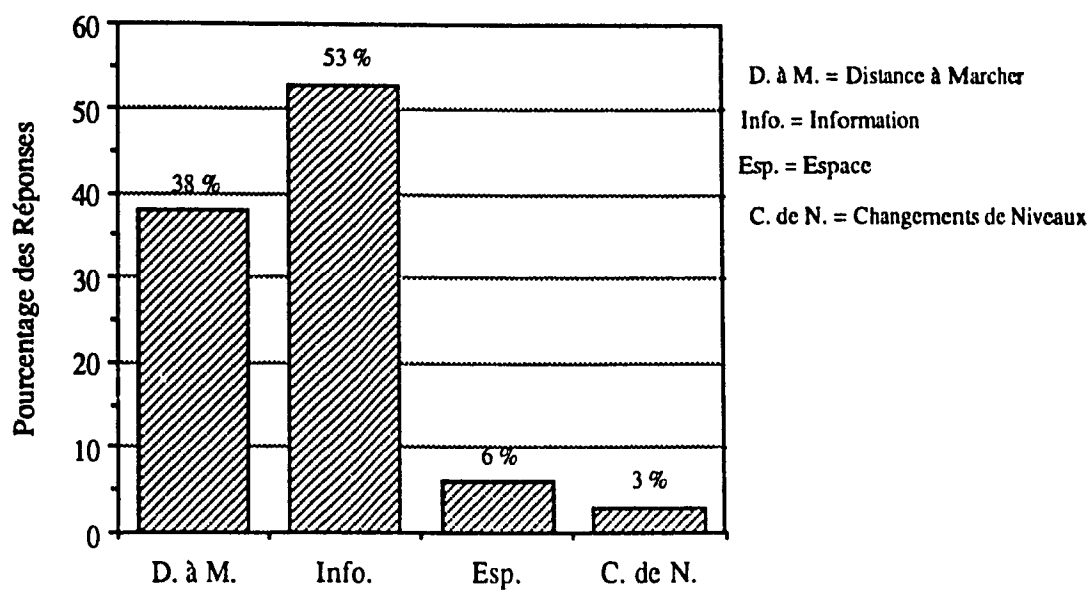


Figure 3.2 Fréquences Obtenues des Facteurs pour l'Élément CIRCULATION.

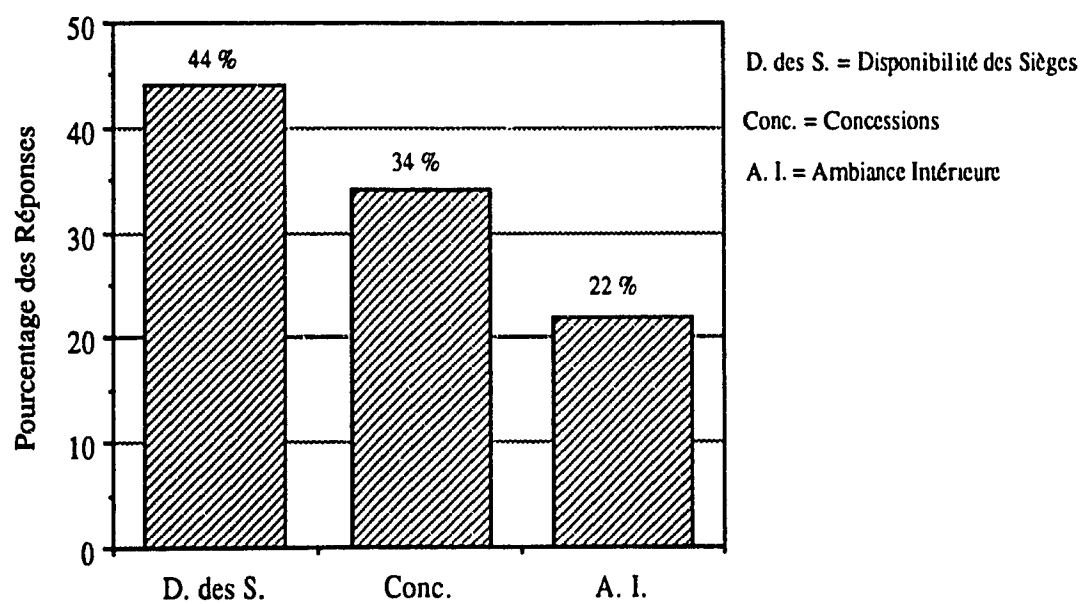


Figure 3.3 Fréquences Obtenues des Facteurs pour l'Élément AIRES D'ATTENTE.

Une raison possible pour que l'Information soit perçue comme étant le facteur le plus important peut être sa connexité avec les autres facteurs de son élément. Par exemple, il est possible de minimiser la distance à marcher et les changements de niveaux (déplacement vertical entre étages à l'aide d'escaliers mobiles, ascenseur, tapis roulant ou escalier) si l'information appropriée est localisée au bon endroit, et dirigeant ainsi le passager vers sa destination choisie (à l'intérieur de l'édifice). De plus, les systèmes d'information bien organisés peuvent aider le passager à surmonter les anxiétés associées aux foules et au fait de prendre l'avion. Les instructions claires aident à développer chez le passager une certaine confiance qui fait qu'en retour, il apprécie mieux les installations aéroportuaires et les procédures d'acheminement.

Quant aux Changements de Niveaux, la raison possible pour laquelle ils n'obtiennent que 3% des votes peut venir du fait que les passagers de l'aéroport de Dorval sont moins susceptibles de changer plusieurs fois de niveaux (les activités principales de départ sont toutes situées au deuxième niveau), alors cette préoccupation est moins présente. Une raison semblable peut être évoquée pour la variable Espace Disponible qui est d'une importance capitale dans la conception et planification de tout aéroport. Au moment du sondage, le volume de passagers était tel que l'aérogare fonctionnait efficacement, sans problèmes de congestion. Les passagers n'étaient donc pas importunés par le manque d'espace.

La distribution plus uniforme des votes entre les facteurs suggérés à l'élément AIRES D'ATTENTE semble logique, puisque ces facteurs sont relativement plus indépendants que ne le sont ceux suggérés à l'élément CIRCULATION. Le nombre de sièges, par exemple, n'affecte pas nécessairement l'emplacement et la diversité des Concessions. La Disponibilité des Sièges peut être synonyme de confort lorsque la période d'attente devient considérable. Étant assis, le passager peut occuper son temps jusqu'au départ en lisant, en se reposant, ou même en regardant l'environnement immédiat.

La distribution des votes des passagers entre les facteurs de performance associés aux ACTIVITÉS D'ACHEMINEMENT semble être complètement différente de celle retrouvée dans les autres éléments. La figure 3.4 permet de constater que la proportion de passagers (60%) qui choisissent le Temps d'attente comme facteur le plus important est presque deux fois plus grande que la proportion (31%) ayant identifié la Commodité comme étant le plus important et presque sept fois plus grande que celle des passagers qui perçoivent la disponibilité de l'Espace comme étant important.

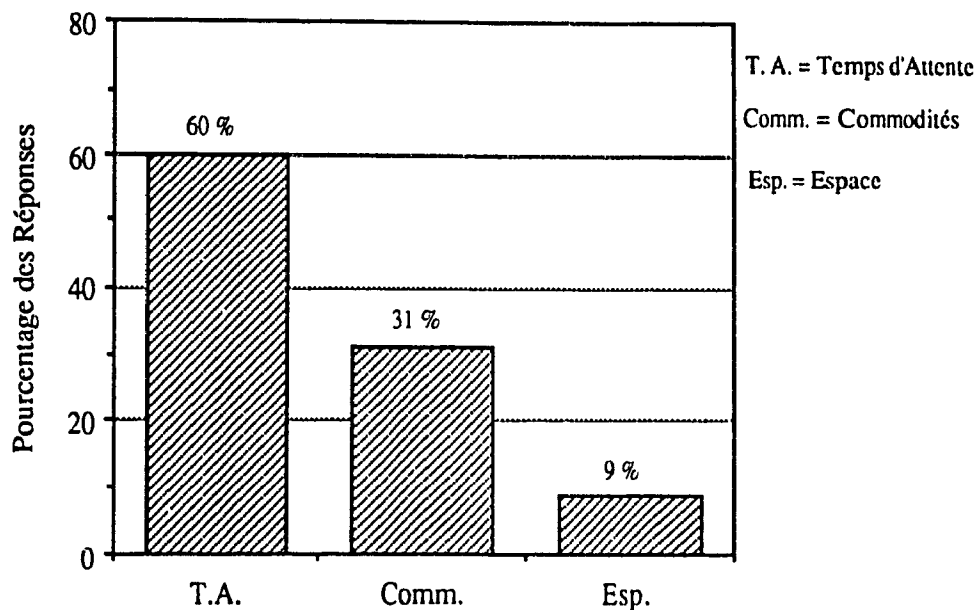


Figure 3.4 Fréquences Obtenues des Facteurs pour l'Élément ACTIVITÉS D'ACHEMINEMENT.

Pour un passager peu familier avec les procédures liées au processus d'embarquement, il est normal que celui-ci considère le temps d'attente comme facteur important dans la qualité du service. L'attente à une activité d'acheminement est souvent perçue négativement. Premièrement, elle peut être associée à l'incertitude. Il est difficile pour une personne attendant en file de savoir exactement combien de temps il lui reste à attendre. De ce fait, pour quelqu'un qui est juste dans son horaire (c'est-à-dire que les temps libres avant le départ du vol sont presque nuls), le taux d'anxiété augmente et le

temps perçu à l'attente est alors supérieur au temps réel. Deuxièmement, l'attente peut paraître plus longue, car les divertissements sont rares.

D'autre part, en ce qui a trait à un passager plus familier avec les aéroports, l'attente à ces activités peut être perçue comme un élément retardataire dans l'exécution des autres activités du processus. En d'autres termes, l'attente est souvent perçue comme une perte de temps, surtout si la durée de l'envolée est courte.

### **(c) COMPARAISONS STATISTIQUES DES FACTEURS**

Des tests khi-carré ( $\chi^2$ ) sont exécutés sur les fréquences en nombres absolus des votes reçus par les facteurs afin d'en déterminer leur signification statistique. Cela permet d'être confiant à 95% que, par exemple, la portion des passagers ayant identifié l'Information comme étant le facteur le plus important pour la CIRCULATION (voir figure 3.2) est différente significativement de la portion des passagers ayant perçu le facteur Distance à Marcher comme plus important. Les paires de facteurs dans chacun des trois éléments, leur fréquence de votes et leur valeur  $\chi^2$  respectives sont données au tableau 3.3. D'après ce tableau, il est apparent que toutes les paires de facteurs montrent que la différence entre fréquences est significative à 95%, à l'exception de l'Espace et des Changements de Niveaux dans la section CIRCULATION, qui ne récoltent que 13 (6%) et 7 (3%) votes respectivement. Les remarques faites au sujet des différences entre les facteurs appartenant aux ACTIVITÉS D'ACHEMINEMENT sont maintenant justifiées puisque, tel que montré dans le tableau, leur probabilité "p" correspondant à la région critique est égale à zéro. En d'autres termes, selon l'hypothèse nulle, la probabilité que les fréquences obtenues des facteurs ne soient pas significativement différentes est nulle.

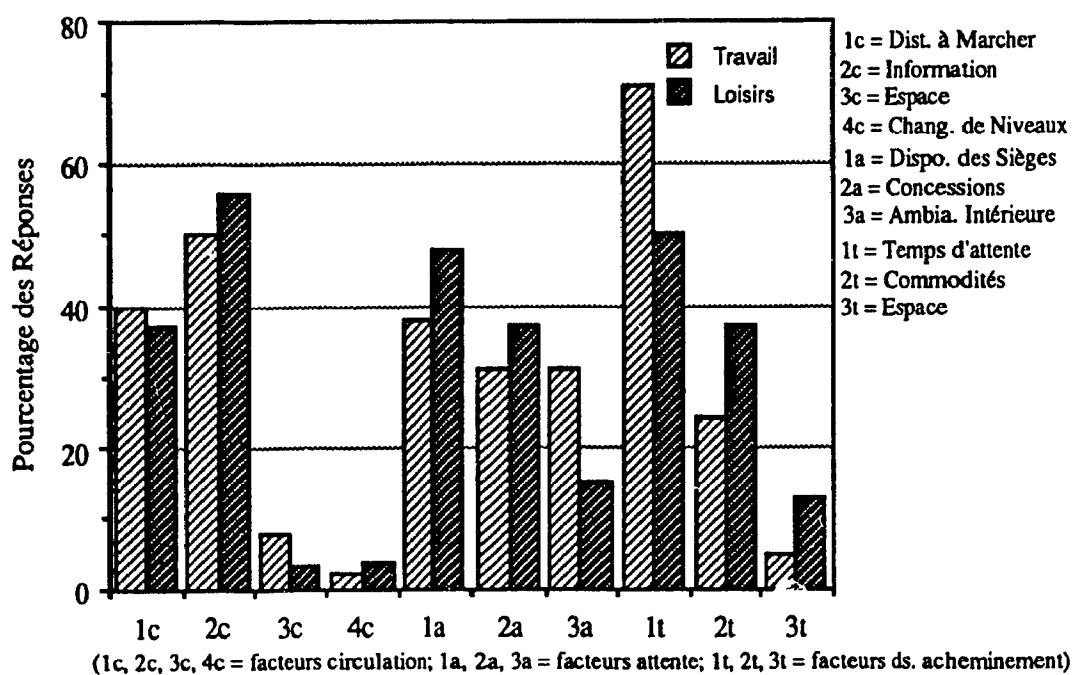
Tableau 3.3 Différences Statistiques des Proportions de "Votes" Reçus par les Variables.

Élément	Paire de Facteurs	Fréquence (nb. absolus)	Khi-Deux ( $\chi^2$ )	Région Critique "p"
Circulation	Information Vs. Dist. à Marcher	120 Vs. 87	9.670	0.002
	Dist. à Marcher Vs. Espace	87 Vs. 13	70.229	0.000
	Espace Vs. Chang. Niveaux	13 Vs. 7	1.883	0.170
Aires d'Attente	Dispo. des Sièges Vs. Concessions	99 Vs. 77	4.491	0.034
	Concessions Vs. Ambia. Intérieure	77 Vs. 51	7.355	0.007
Activités d'Achemine.	Temps d'Attente Vs. Commodités	136 Vs. 70	38.710	0.000
	Commodités Vs. Espace	70 Vs. 21	32.999	0.000

Les comparaisons des perceptions générales des passagers envers les facteurs qui influencent la performance de l'aérogare étant terminées, la prochaine étape consiste à répéter les tests, mais pour les perceptions désagrégées selon quatre variables fixes: le motif du déplacement, le sexe, l'âge et le temps passé dans l'aérogare.

De ces quatre variables, le motif du déplacement est la variable la plus souvent employée lors des enquêtes et d'études de capacité. Les voyageurs pour affaires représentent une population différente de celle pour loisirs. On peut constater cette différence dans leurs attentes, besoins et comportement. Ainsi, la planification et le développement des installations et l'évaluation de celles déjà existantes doivent en tenir compte.

La figure 3.5 nous renseigne sur la répartition des votes selon le motif du déplacement. D'après cette figure et d'après le tableau 3.4, il est possible de remarquer des différences marquées entre les perceptions des deux catégories de voyageurs (travail et loisirs) vis-à-vis tous les facteurs d'ACTIVITÉS D'ACHEMINEMENT. Par exemple, bien que les proportions de votes, et ce pour les deux catégories de voyageurs, soient plus grandes pour le facteur Temps d'attente, la proportion de voyageurs pour affaires (75 ou 71%) identifiant ce facteur diffère significativement de la proportion de voyageurs pour loisirs (61 ou 50%) identifiant ce même facteur.



**Figure 3.5 Comparaison des Fréquences Selon le Motif du Déplacement.**

Tableau 3.4 Comparaisons Statistiques sur les Fréquences Désagrégées Selon le Motif.

Élément	Facteurs	Khi-Deux, ( degré de liberté)	Région Critique "p"
Circulation	Dist. à Marcher	0.232 (1)	0.630
	Information	0.874 (1)	0.350
	Espace	2.928 (1)	0.087
	Chang. de Niveaux	0.909 (1)	0.340
Aires d'Attente	Dispo. des Sièges	2.418 (1)	0.120
	Concessions	1.034 (1)	0.309
	Ambia. Intérieure	9.007 (1)	0.003
Activités d'Achemine.	Temps d'Attente	10.789 (1)	0.001
	Commodités	4.524 (1)	0.033
	Espace	4.690 (1)	0.030

Plusieurs grandes lignes aériennes reconnaissent l'existence des deux populations et leurs besoins. C'est la raison pour laquelle il n'est pas rare de retrouver des comptoirs d'enregistrement "pour classe affaires" ou encore "première classe". Il se peut aussi qu'un passager voyageant pour affaires et n'ayant aucun bagage à enregistrer puisse se rendre directement aux postes de fouille. Les temps de traitement et d'attente, si attente il y a, en sont alors réduits.

La figure 3.5 indique aussi que la proportion de voyageurs pour affaires identifiant la distance à marcher comme étant plus important est plus grande que celle des voyageurs



pour loisirs, tandis que la situation contraire se produit pour le facteur Information. Ces différences semblent refléter les variations dans la perception du temps qu'ont les deux groupes, aussi bien que dans la familiarité de l'aéroport. Les voyageurs pour affaires, qui sont appelés à voyager plus souvent, n'ont pas autant besoin d'informations, comparativement aux voyageurs pour loisirs qui voyagent plus rarement.

En comparant les perceptions selon le sexe des passagers, la figure 3.6 ainsi que le tableau 3.5 présentent le Temps d'attente et la Commodité aux ACTIVITÉS D'ACHEMINEMENT comme étant les deux seuls facteurs pour lesquels les proportions des hommes diffèrent significativement de celles des femmes. La proportion des femmes choisissant le Temps d'attente (32 ou 44%) est différente de celle des hommes (104 ou 68%), et semblablement, la proportion des hommes choisissant la commodité (38 ou 25%) diffère de façon significative de celle des femmes (32 ou 44%).

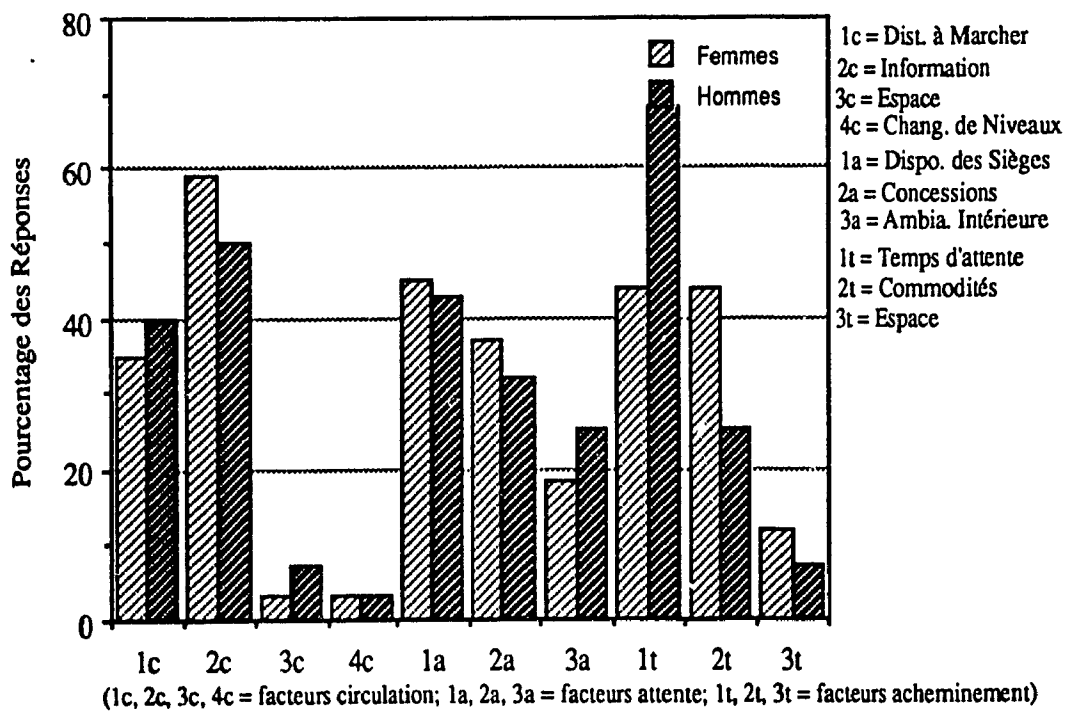
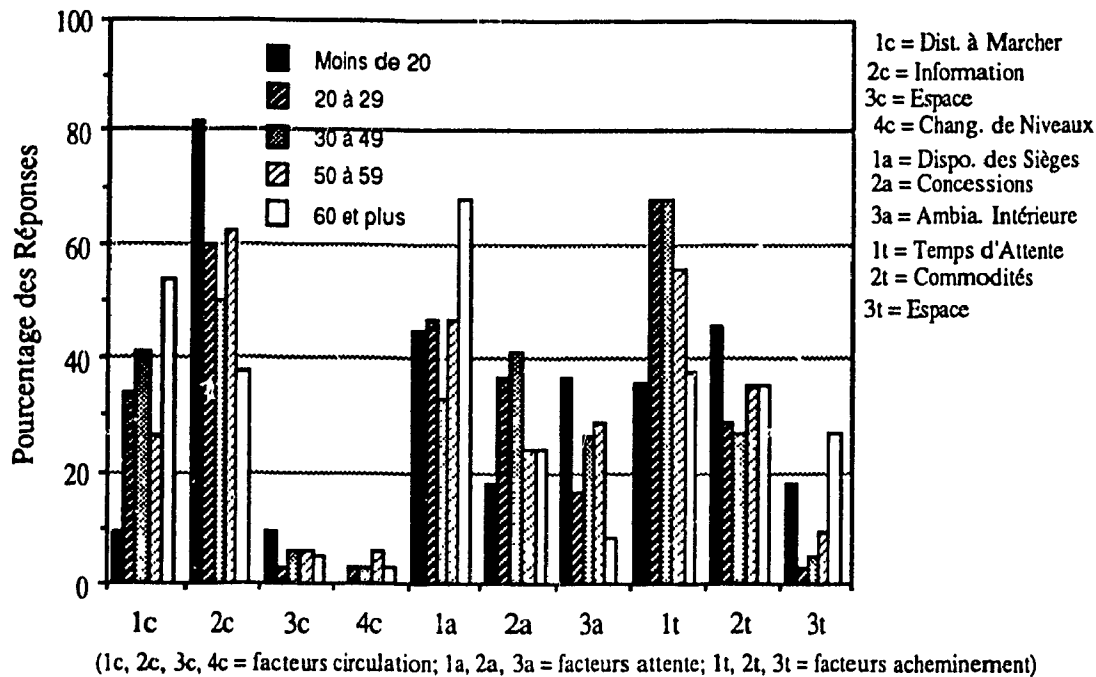


Figure 3.6 Comparaison des Facteurs Selon le Sexe.

Tableau 3.5 Comparaisons Statistiques sur les Fréquences Désagrégées Selon le Sexe.

Élément	Facteurs	Khi-Deux, ( degré de liberté)	Région Critique "p"
Circulation	Dist. à Marcher	0.334 (1)	0.563
	Information	1.576 (1)	0.209
	Espace	1.778 (1)	0.182
	Chang. de Niveaux	0.043 (1)	0.836
Aires d'Attente	Dispo. des Sièges	0.111 (1)	0.739
	Concessions	0.451 (1)	0.502
	Ambia. Intérieure	1.341 (1)	0.247
Activités d'Achemine.	Temps d'Attente	11.579 (1)	0.001
	Commodités	8.525 (1)	0.004
	Espace	1.214 (1)	0.271

La figure 3.7 et le tableau 3.6 montrent la comparaison des fréquences de votes obtenus des facteurs selon les groupes d'âge et les résultats des tests khi-carré effectués sur ces fréquences. Pour un total de cinq facteurs, une différence significative au niveau de confiance de 5% était décelée entre les fréquences des votes des divers groupes d'âge: la Distance à Marcher et l'Information pour l'élément CIRCULATION, la Disponibilité des Sièges pour l'élément AIRES D'ATTENTE et le Temps d'attente et l'Espace pour l'élément ACTIVITÉS D'ACHEMINEMENT. Les personnes appartenant au groupe d'âge 60 ans et plus semblent accorder beaucoup d'importance à la Distance à Marcher (20, 54%) et la Disponibilité des Sièges (25, 68%).



**Figure 3.7 Comparaison des Facteurs Selon le Groupe d'Age.**

Quant aux variables associées aux activités d'acheminement, aucune d'entre elles ne paraît plus importante, car elles reçoivent des proportions presque égales de ces mêmes passagers (60 ans et plus). Par contre, les proportions des groupes d'âge 20-29 et 30-49 ans identifiant le Temps d'attente aux ACTIVITÉS D'ACHEMINEMENT comme facteur le plus important sont beaucoup plus grandes que les proportions des mêmes groupes d'âge identifiant les deux autres facteurs.

Une comparaison du temps passé dans l'aérogare entre les voyageurs pour affaires et les voyageurs pour loisirs est élaborée à la figure 3.8. Il est apparent que, dans la période où le sondage fut exécuté, 60% des voyageurs pour affaires sont arrivés à l'aérogare entre 30 et 90 minutes avant le départ de leur vol. En moyenne, les voyageurs pour loisirs ont passé dans l'aérogare approximativement 30 minutes de plus que les voyageurs pour affaires.

Tableau 3.6 Comparaisons Statistiques sur les Fréquences Désagrégées Selon le Groupe d'Age.

Élément	Facteurs	Khi-Deux, ( degré de liberté)	Région Critique "p"
Circulation	Dist. à Marcher	10.497 (4)	0.033
	Information	9.506 (4)	0.050
	Espace	1.045 (4)	0.903
	Chang. de Niveaux	1.313 (4)	0.859
Aires d'Attente	Dispo. des Sièges	14.203 (4)	0.007
	Concessions	6.994 (4)	0.136
	Ambia. Intérieure	8.354 (4)	0.079
Activités d'Achemine.	Temps d'Attente	14.500 (4)	0.006
	Commodités	2.502 (4)	0.644
	Espace	19.633 (4)	0.001

Cependant, d'après la figure 3.9, il est intéressant de noter que, quelque soit la longueur du temps passé dans l'aérogare, il n'existe aucune différence significative dans la manière dont les passagers perçoivent l'importance des facteurs. En d'autres termes, le temps passé dans l'aérogare ne semble pas influencer la perception de l'importance des facteurs.

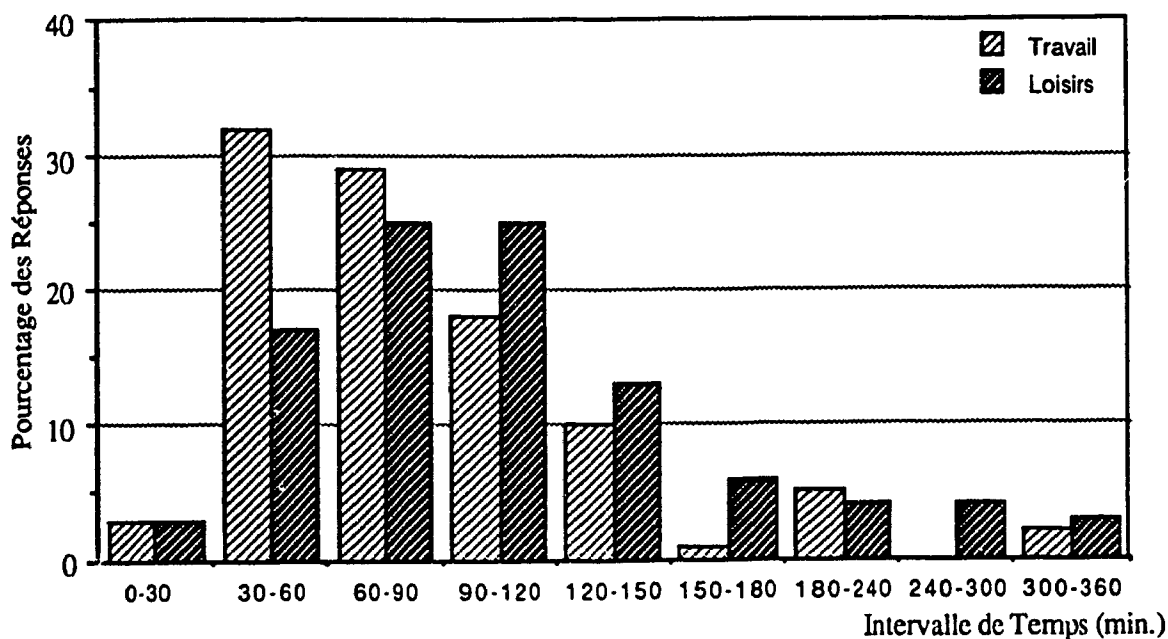


Figure 3.8 Temps Passé dans l'Aérogare.

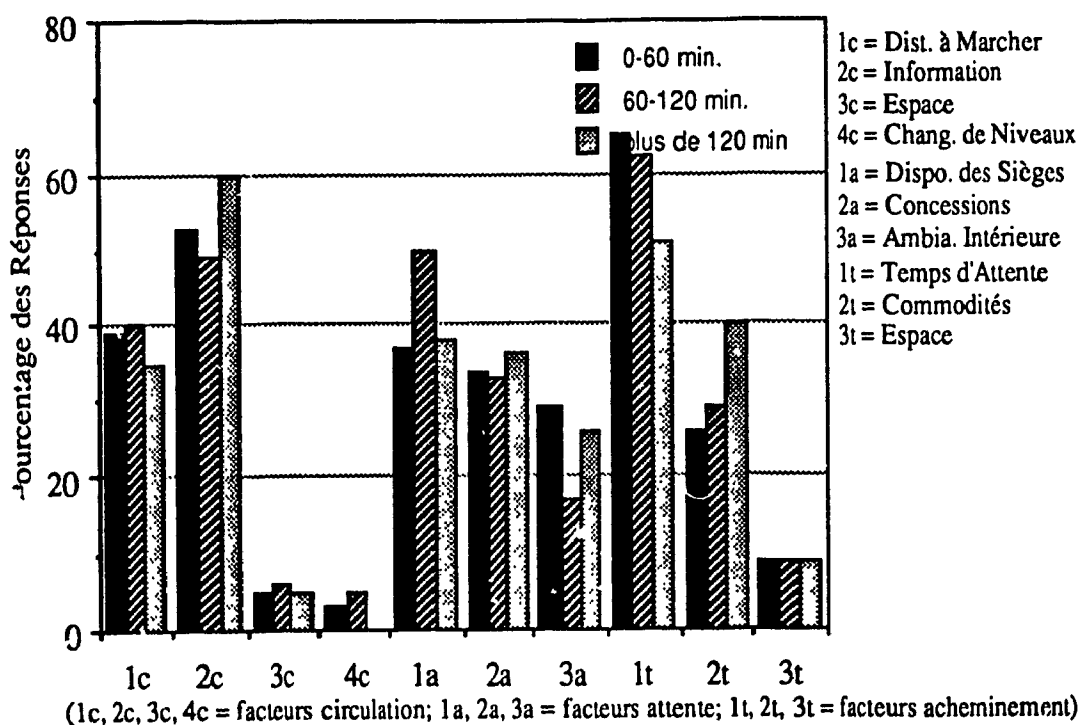


Figure 3.9 Comparaison des Facteurs Selon le Temps passé ds. l'aérogare.

On remarque que le facteur temps est perçu différemment par les divers groupes, quelque soit la variable fixe de désagrégation. D'ailleurs, d'après toutes ces comparaisons,

il est permis de supposer que le temps d'attente aux activités d'acheminement influence grandement la qualité de service perçue par un passager de sexe masculin, voyageant pour affaires et âgé entre 30 et 49 ans.

#### (d) MESURES D'ASSOCIATION

Il est possible, avec les commandes PROC FREQ, PROC CATMOD et PROC CORR sur SAS, d'obtenir une vingtaine de statistiques diverses permettant l'analyse de données catégoriques. Cependant, la nature des données recueillies à l'aide du sondage limite l'application de ces statistiques.

Les statistiques utilisées dans cette section sont les suivantes: (a) le test khi-carré de Pearson, celui de Mantel-Haenszel et le ratio de vraisemblance de khi-carré, employés pour vérifier l'indépendance des variables; (b) les mesures d'association Phi, Cramer, Coefficient de contingence, Lambda ( $\lambda$ ) et, selon les statistiques de Cochran-Mantel-Haenszel, la mesure d'association générale.

Spécifiquement, le test *khi-carré de Pearson* considère les différences entre les fréquences observées et espérées. Ce test suit une distribution khi-carré avec  $(R-1)(C-1)$  degrés de liberté [où  $R$  = le nombre de niveaux (ou de facteurs) de la variable de rangée, et  $C$  = le nombre de niveaux de la variable de colonne]. Le test de *Mantel-Haenszel* est aussi un test distribué selon khi-carré, avec 1 degré de liberté, et vérifie l'hypothèse alternative qu'il y a une association linéaire entre la variable de rangée et la variable de colonne. Le *ratio de vraisemblance khi-carré* considère les ratios entre les fréquences observées et espérées.

Quant à la mesure d'association Phi, elle provient de la statistique khi-carré et varie entre -1 et 1. Les valeurs près de 0 indiquent peu ou pas d'association, alors que si elles sont près de l'unité elles indiquent une bonne possibilité de prédiction. Un coefficient

inférieur à 0.3 signifie une association triviale. Le coefficient Cramer (V) a la même signification. À l'exception des tables de croisement 2X2, "V" est égal à la mesure Phi. Le coefficient de contingence, dérivé de khi-carré, peut prendre les valeurs entre 0 et 1, où 0 signifie qu'il n'y a pas d'association. La quatrième mesure, Lambda, est interprétée comme l'amélioration probable de prédire une variable lorsqu'on connaît l'autre.

Finalement, la mesure d'association générale Cochran-Mantel-Haenszel suppose que les strates (ou niveaux) sont indépendantes et que les totaux marginaux pour chaque strate sont fixes. L'hypothèse nulle est qu'il n'y a pas d'association entre X et Y, et ce à chaque strate.

Les résultats, montrés aux tableaux 3.7 et 3.8 indiquent qu'en général il n'existe pas ou très peu d'association entre les variables fixes et les ensembles de facteurs de chaque élément. On note cependant que lorsque les variables fixes sont couplées aux facteurs de l'élément d'acheminement, il y a un signe d'une association quelconque.

Il importe de vérifier l'indépendance des diverses variables afin de permettre leur modélisation (qui servira éventuellement lors de l'évaluation de la qualité de service selon les passagers). La modélisation ressemble à l'analyse factorielle pour données catégoriques; et, tout comme la régression, les tests d'indépendance des variables doivent être effectués.

Tableau 3.7 Indépendance entre Variables Fixes et Facteurs.

Variables	Tests Statistiques	Valeur	Prob. "p"	Interprétation
Motif du Déplac. Vs. Circulation*	khi-carré de Pearson	4.196	0.241	Aucun signe d'association
	Mantel-Haenszel	0.056	0.814	
	Ratio de vraisemblance	4.271	0.234	
Sexe Vs. Circulation	khi-carré de Pearson	2.667	0.446	Aucun signe d'association
	Mantel-Haenszel	0.020	0.887	
	Ratio de vraisemblance	2.892	0.409	
Age Vs. Circulation	khi-carré de Pearson	13.213	0.354	Signe d'une très faible association
	Mantel-Haenszel	1.204	0.273	
	Ratio de vraisemblance	14.360	0.278	
Motif du Déplac. Vs. Attente*	khi-carré de Pearson	9.031	0.011	Aucun signe d'association
	Mantel-Haenszel	6.619	0.010	
	Ratio de vraisemblance	9.078	0.011	
Sexe Vs. Attente	khi-carré de Pearson	1.400	0.497	Aucun signe d'association
	Mantel-Haenszel	0.680	0.410	
	Ratio de vraisemblance	1.439	0.487	



Tableau 3.7 (suite) Indépendance entre Variables Fixes et Facteurs.

Variables	Tests Statistiques	Valeur	Prob. "p"	Interprétation
Age. Vs. Attente*	khi-carré de Pearson	19.107	0.014	Signe d'une très faible association
	Mantel-Haenszel	4.254	0.039	
	Ratio de vraisemblance	19.928	0.011	
Motif du Déplac. Vs. Acheminement*	khi-carré de Pearson	11.710	0.003	Signe d'une association
	Mantel-Haenszel	11.456	0.001	
	Ratio de vraisemblance	12.024	0.002	
Sexe Vs. Acheminement	khi-carré de Pearson	11.639	0.003	Signe d'une association
	Mantel-Haenszel	9.036	0.003	
	Ratio de vraisemblance	11.529	0.003	
Age Vs. Acheminement	khi-carré de Pearson	25.361	0.001	Signe d'une association
	Mantel-Haenszel	7.750	0.005	
	Ratio de vraisemblance	22.519	0.004	

\* Sert de variable regroupant les facteurs correspondant à l'élément.

Tableau 3.8 Association entre Variables Fixes et Facteurs.

Variables	Mesures d'Association	Valeur (prob."p")	Interprétation
Motif du Déplac. Vs. Circulation*	Lambda 1,2** Lambda 2,1 Phi Coefficient de Contingence Cramer Association Générale***	0.048 0.000 0.136 0.135 0.136 (0.243)	Aucun signe d'association
Sexe Vs. Circulation	Lambda 1,2** Lambda 2,1 Phi Coefficient de Contingence Cramer Association Générale***	0.000 0.000 0.108 0.108 0.108 (0.448)	Aucun signe d'association
Age Vs. Circulation	Lambda 1,2** Lambda 2,1 Phi Coefficient de Contingence Cramer Association Générale***	0.000 0.005 0.241 0.235 0.139 (0.358)	Aucun signe d'association
Motif du Déplac. Vs. Attente*	Lambda 1,2** Lambda 2,1 Phi Coefficient de Contingence Cramer Association Générale***	0.143 0.000 0.199 0.196 0.199 (0.011)	Très peu d'association
Sexe Vs. Attente	Lambda 1,2** Lambda 2,1 Phi Coefficient de Contingence Cramer Association Générale***	0.000 0.000 0.079 0.078 0.079 (0.498)	Aucun signe d'association

Tableau 3.8 (suite) Association entre Variables Fixes et Facteurs.

Variables	Mesures d'Association	Valeur (prob."p")	Interprétation
Age. Vs. Attente*	Lambda 1,2** Lambda 2,1 Phi Coefficient de Contingence Cramer Association Générale***	0.000 0.070 0.290 0.279 0.205 (0.015)	Très peu d'association
Motif du Déplac. Vs. Acheminement*	Lambda 1,2** Lambda 2,1 Phi Coefficient de Contingence Cramer Association Générale***	0.133 0.000 0.227 0.221 0.227 (0.003)	Signe d'une association un peu plus forte
Sexe Vs. Acheminement	Lambda 1,2** Lambda 2,1 Phi Coefficient de Contingence Cramer Association Générale***	0.000 0.000 0.226 0.221 0.226 (0.003)	Signe d'une association un peu plus forte
Age Vs. Acheminement	Lambda 1,2** Lambda 2,1 Phi Coefficient de Contingence Cramer Association Générale***	0.042 0.011 0.334 0.317 0.237 (0.001)	Signe d'une association quelconque

\* Sert de variable regroupant les facteurs correspondant à l'élément.

\*\* Lambda 1,2 =amélioration de la probabilité de prévoir la première variable mentionnée à partir de la seconde variable. Semblablement, Lambda 2,1 =amélioration de la probabilité de prévoir la seconde variable à partir de la première.

\*\*\* Mesure provenant des statistiques de Cochran-Mantel-Haenszel.

### (e) MODÈLES

La modélisation des variables fixes en fonction des facteurs de qualité de service permet d'expliquer les différences entre les perceptions de chaque population (groupe de

passagers possédant les mêmes caractéristiques). Les modèles les plus couramment employés, modèles Logit, ne le sont pas pour cette recherche, car les variables de réponse ont plus de deux niveaux, ou plus de deux choix. [Note: Pour cette partie de l'analyse, une variable correspond à un des trois éléments et un niveau, ou choix de réponse, correspond aux facteurs, comme par exemple la Distance à marcher.] La variable CIRCULATION possède donc quatre niveaux, les variables AIRES D'ATTENTE et ACTIVITÉS D'ACHEMINEMENT en possèdent chacune trois.

La méthode d'élaboration des modèles suggérée dans le manuel d'instruction du logiciel SAS (54) propose la détermination de modèles réduits à partir de modèles saturés. À partir du modèle saturé, les variables fixes sont retirées ou gardées dans le modèle selon que la probabilité "p" correspondant à leur valeur khi-carré, et montrée dans le tableau de l'analyse des variances provenant du logiciel, soit significativement plus petite ou plus grande que le niveau de confiance désiré. La statistique d'adéquation (le résidu de khi-carré) du modèle réduit vérifie la signification conjointe de tous les effets retirés du modèle saturé.

Or, à chaque élément, des modèles basés sur les probabilités conjointes sont construits pour chaque paire de variables fixes et les résultats sont résumés au tableau 3.9. Le niveau de confiance désiré est de 95%. Ainsi, toute probabilité "P" inférieure à 5% signifie que la variable affecte significativement le choix de réponse à chaque élément. Pour l'élément CIRCULATION, les modèles des probabilités conjointes indiquent que les probabilités de réponses sont les mêmes pour chaque population caractérisée selon le motif du déplacement et le sexe. Une conclusion semblable peut être tirée lorsque le sexe et l'âge sont les critères de désagrégation. Lorsque les réponses des passagers sont désagrégées selon le motif et l'âge, les différences sont dues à la variable âge seulement.

Tableau 3.9 Modélisation des Variables Fixes (Basé sur les Probabilités Conjointes).

Élément	Variables utilisées	Modèle	Probabilité "p" Niveau de confiance = 5%	Interprétation
Circulation	Motif et Sexe	Sexe	0.1169	Variable significative*
		Motif	0.4335	
		Sexe*Motif	0.1908	
	Motif et Age	Age	0.0014	
		Motif	0.8312	
		Age*Motif	0.9351	
	Sexe et Age	Age	0.0594	
		Sexe	0.9184	
		Age*Sexe	0.5445	
Aires d'Attente	Motif et Sexe	Sexe	0.9786	Variable significative Variable significative Variable significative
		Motif	0.0946	
		Sexe*Motif	0.9755	
	Motif et Age	Age	0.0028	
		Motif	0.0444	
		Age*Motif	0.0737	
	Sexe et Age	Age	0.0006	
		Sexe	0.3271	
		Age*Sexe	0.6305	
Activités d'Achemin.	Motif et Sexe	Sexe	0.0344	Variable significative Variable significative Variable significative
		Motif	0.0061	
		Sexe*Motif	0.1737	
	Motif et Age	Age	0.0206	
		Motif	0.1188	
		Age*Motif	0.6425	
	Sexe et Age	Age	0.0188	
		Sexe	0.1763	
		Age*Sexe	0.7404	

\* C'est-à-dire variable causant les différences entre les perceptions (ou choix de réponse).

La modélisation en fonction de l'élément AIRES D'ATTENTE révèle que, en considérant le motif et le sexe, les probabilités de réponses ne sont pas affectées.

Cependant, en prenant comme critères le motif et l'âge, il est apparent que les différences entre les probabilités de réponse sont causées par l'une ou l'autre des variables, mais leur interaction n'a aucune influence. Le modèle élaboré avec le sexe et l'âge suggère que seul l'âge est la cause des différences.

Lorsque les modèles sont construits pour l'élément **ACTIVITÉS D'ENREGISTREMENT**, la variable âge, qu'elle soit prise en considération avec la variable motif ou la variable sexe, se révèle être la cause des différences entre les probabilités de réponses. Par contre, il est intéressant de remarquer que si les populations sont différenciées selon le motif ainsi que le sexe, le modèle montre que les deux critères de désagrégation produisent un effet sur les probabilités de réponses. Leur interaction n'a cependant aucune influence.

En résumé, le choix des facteurs ne semble pas être affecté par le motif du déplacement ou le sexe du répondant, sauf dans le cas des activités de traitement. Par contre, presque dans tous les cas, l'âge du répondant influence le choix de réponse.

#### **(f) DÉTERMINATION DE L'ENSEMBLE DES FACTEURS**

L'interrelation entre les variables associées aux trois éléments généraux de l'aérogare peut être visualisée clairement à l'aide de "l'arbre de proportions" montré à la figure 3.10. Par exemple, l'arbre indique les proportions de passagers identifiant la Disponibilité des sièges, les Concessions ou l'Ambiance intérieure pour l'élément **AIRES D'ATTENTE** ainsi que le Temps d'attente aux **ACTIVITÉS D'ACHEMINEMENT** et l'Information pour l'élément **CIRCULATION** ne diffèrent pas significativement.

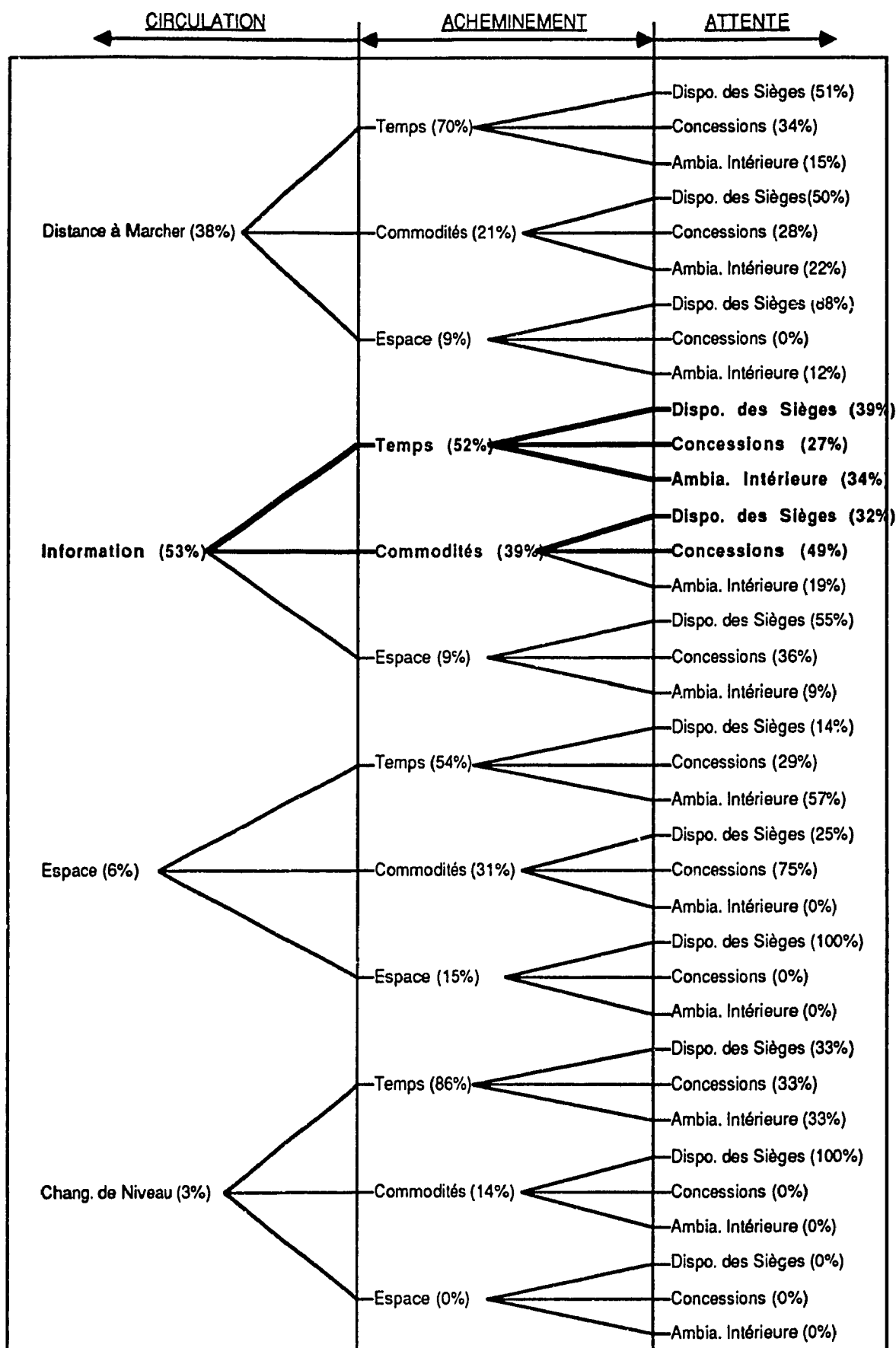


Figure 3.10 Arbre des Proportions pour les Facteurs Hiérarchisés.

L'ensemble des facteurs perçus par les passagers comme étant les plus importants est caractérisé par les facteurs montrés en caractère gras dans l'arbre. Cet ensemble est généré selon des tests khi-carré exécutés tour à tour sur les fréquences généralisées (sans classification particulière comme par exemple le sexe), en nombre absolus, des votes obtenus pour chaque facteur dans chacun des trois éléments. Par exemple, 53% des répondants identifient l'Information comme étant le facteur le plus important et, d'après les valeurs khi-carré, cette proportion diffère significativement des proportions de votes attribuées aux trois autres variables. (Les trois éléments étant disposés dans l'arbre de façon hiérarchique et ayant vérifié l'indépendance de ces éléments, l'ordre des éléments n'influence pas les résultats finaux.) De ces 53%, 52% perçoivent comme facteur plus important le Temps d'attente et 39% perçoivent la Commodité comme facteur plus important. Cependant, les résultats des tests khi-carré exécutés sur ces deux proportions indique que la différence n'est pas significative. Les deux facteurs sont donc considérés également importants et sont inclus dans l'ensemble des facteurs influençant la performance de l'aérogare.

### 3.5 SYNTHÈSE

Dans ce chapitre, il a été vu que la qualité de service d'une aérogare s'évalue par une combinaison de facteurs quantitatifs et qualitatifs. Une analyse détaillée des résultats d'enquêtes menées à l'aéroport de Dorval y est présentée.

Les résultats de cette analyse montrent que (1) la performance d'un élément de l'aérogare peut être évaluée par un ensemble de facteurs complètement différent de celui d'un autre élément; (2) le degré d'importance de quelques facteurs est influencé par les différentes catégories de passagers (travail ou loisir, homme ou femme, jeune ou moins jeune); (3) l'âge influence le choix de réponse; et (4) les facteurs à utiliser pour évaluer la



performance de l'aérogare dans des conditions similaires aux conditions prédominantes lors du sondage sont:

- 1- Information,
- 2- Temps d'attente (aux activités d'acheminement),
- 3- Commodité (en termes d'effort physique aux activités d'acheminement),
- 4- Disponibilité des sièges,
- 5- Concessions (en termes d'accèsibilité et de diversité) et
- 6- Ambiance intérieure.

Le chapitre suivant reprend quatre de ces six facteurs et les transforme en indices de performance en proposant des expressions mathématiques. L'intégration de ces expressions permet une évaluation globale de la qualité de service d'une aérogare.

## CHAPITRE 4.0 INDICES DE PERFORMANCE

L'utilisation de niveaux de service est pratique courante dans la détermination des besoins en installations aéroportuaires et dans l'évaluation d'aérogares. Jusqu'ici, cette étude a fait ressortir quelques-unes des lacunes présentes dans le fondement des méthodologies employées; par exemple, la structure même des niveaux de service exprimés en termes d'espace qui n'est pas représentative des situations retrouvées ou encore, l'emploi d'un seul facteur qui sert d'unité de mesure de la qualité de service pour tous les éléments de l'aérogare, quelque soit la nature des besoins des usagers dans ces différents éléments.

La solution-clé à cette dernière lacune est de combiner facteurs quantitatifs et qualitatifs afin de mieux représenter les besoins et de tenir compte de leur complexité. Une évaluation qualitative présente cependant plusieurs difficultés. Par contre, la traduction de la mesure qualitative en indice de performance facilite la tâche des concepteurs et planificateurs dans l'évaluation de la qualité de service et peut aussi servir d'outil aux gestionnaires désirant connaître à quel point leurs objectifs sont atteints. La planification du succès des services dans un marché où les passagers ont un choix de plus d'un aéroport peut jouer un rôle important pour l'avenir d'un aéroport.

Présentée d'une autre manière, l'utilisation de variables (ou d'indices) de performance dans l'évaluation des aérogares permet de réduire le degré de subjectivité associé à l'assignation de normes fixes et de réduire l'invalidité de ces mesures numériques en raison des conditions environnementales qui changent en fonction de l'endroit et du temps.

À titre de comparaison, les groupes gestionnaires des sociétés de transport en commun font partie des quelques agences de transport ayant adopté des variables

normalisées ou des indicateurs de performance pour contrôler et gérer leurs systèmes (55, 56). Un procédé de détermination de variables de performance, suggéré par le "ITE technical council committee"(57), tient compte d'une hiérarchie en termes de buts, objectifs et variables de performance. Adapté aux aéroports, le procédé se résume en six étapes:

- (1) développement des buts, généraux mais concis, reliés aux systèmes aéroportuaires;
- (2) définition du but par une série d'objectifs concis;
- (3) définition de chaque objectif par une ou plusieurs variable(s) de performance;
- (4) attribution de poids relatif à chaque objectif et à chaque variable de performance;
- (5) comparaison quantitative des valeurs individuelles d'une variable de performance à l'aide du concept de la courbe d'utilité; et
- (6) détermination du niveau de service (ou de la qualité de service) du système ou d'un élément particulier du système.

Cependant, avant d'être considérée comme une variable de performance, la variable doit d'abord satisfaire quatre critères spécifiques (58):

- (a) refléter les objectifs spécifiques de la gestion;
- (b) être simple à définir et quantifier;
- (c) ne pas exiger une collecte de données approfondie et dispendieuse; et
- (d) être raisonnablement sensible aux changements en termes d'actions d'amélioration ou de gestion.

Ainsi, toute variable de performance répondant à tous ces critères peut servir d'outil pratique de conception, de planification et de gestion.

Le présent chapitre vise à reprendre les variables définies au chapitre précédent pour ensuite les élaborer en indices de performance de l'aérogare. On notera que même si les variables qualitatives paraissent ne pas répondre à tous les critères ci-haut décrits, l'élaboration des indices (en expressions mathématiques) démontre le contraire. Les variables INFORMATION et ACCESSIBILITÉ peuvent sembler ne pas répondre à tous les critères requis d'une variable de performance, comme décrit ci-haut, du fait qu'ils soient plutôt qualitatifs. Néanmoins, tel qu'on le verra au cours des prochaines sections, il est possible de "convertir les aspects qualitatifs par d'autres aspects quantitatifs" à l'aide d'unités mesurables.

#### 4.1 INFORMATION

À l'intérieur de vastes complexes, tels centres commerciaux, gares, terminus d'autobus ou aérogares, l'usager se retrouve souvent devant des situations d'incertitude. La multitude de points de rencontre entre deux ou plusieurs allées fait qu'il est nécessaire d'avoir un bon système d'information, particulièrement dans les aérogares où les passagers suivent des processus complexes d'embarquement et de débarquement. Les passagers sont susceptibles d'être anxieux de respecter l'heure de départ et ainsi deviennent confus et désorientés plus facilement, surtout s'ils ne sont pas familiers avec les procédures à suivre.

L'information se doit de répondre à deux fonctions principales:

- (1) à l'aide de simples directives, orienter les passagers vers leur destination via le plus court chemin; et
- (2) informer les passagers des cédules de départ des vols et de toutes autres informations pertinentes via la communication auditive et visuelle.

Accessibles à tous les passagers, quelque soit leur niveau d'éducation, les directives les plus simples les aideront non seulement à se diriger le plus facilement et rapidement

possible, mais aussi à gagner une certaine confiance en eux qui leur permettront de mieux apprécier l'ensemble des éléments et services offerts dans l'aérogare.

La conception des systèmes auditifs d'avis publics, et surtout sur les vols, est souvent la responsabilité de firmes extérieures spécialisées en la matière. Les concepteurs et planificateurs sont plutôt responsables de la conception des directives et de leur emplacement dans l'aérogare.

Si l'architecture est incapable de fournir l'information directionnelle, plus de directives seront nécessaires. Et où l'information à l'utilisateur est inadéquate, le personnel sur place devra se charger de combler ce manque. Or, toute erreur fondamentale dans l'architecture d'un bâtiment augmente le besoin de fournir de l'information directionnelle supplémentaire.

Beck (59) a examiné l'information offerte aux usagers à l'intérieur d'une station de métro en fonction de l'environnement architectural. De son étude, quatre points majeurs sont tirés:

(1) La courte étendue de la mémoire et la facilité avec laquelle l'information acquise peut être oubliée nécessitent une certaine redondance de l'information;

(2) Le meilleur emplacement et la signification d'une directive ne sont pas seulement fonction de l'endroit où elle est placée, mais aussi de celui d'où elle peut être vue. Seules les directives relatives à un point de décision (point où l'utilisateur doit prendre une décision quant à la prochaine direction à prendre) devraient être visibles aux usagers lorsqu'ils approchent ce point;

(3) En raison de la tendance occasionnelle des usagers à ne pas lire en entier l'information présentée dans un panneau à messages multiples, les écriteaux (directives) devraient être conçus de façon à éviter la lecture partielle du message, résultant en une

mauvaise interprétation. Cela implique alors une hiérarchie de lettres et de mots rendant l'information inutile à moins d'avoir lu le message au complet;

(4) Les efforts mis dans la recherche d'information sont reliés à la perception qu'ont les usagers de la complexité de l'environnement dans lequel ils se trouvent et, par conséquent, de la difficulté de la tâche de trouver la destination.

Ces quatre observations résument bien les conditions à respecter afin d'offrir un système d'information directionnelle efficace.

Mis à part les lignes directrices générales énoncées par Braaksma et Cook (60), relativement à l'emplacement et à la visibilité des écarteaux, ainsi que les symboles standardisés suggérés par l'OACI (61), on dénote le manque de critères et de méthodologies mesurant l'efficacité et le rendement que fournit un système d'informations directionnelles en relation avec les exigences énumérées précédemment.

La méthode de planification et d'évaluation proposée ci-bas tient compte de ces critères et se décrit en deux étapes principales:

Étape (1): Élaboration du système de base, qui implique la démarche suivante:

- (a) déterminer les groupes de passagers (i.e. international / local / en transit / etc.),
- (b) en commençant par le point d'entrée dans l'aérogare, identifier toutes les paires origine-destination possibles entre chaque élément primaire de l'aérogare et ce, pour chaque groupe de passagers,
- (c) à chaque point d'origine, donner les directions et/ou directives relatives à toutes les destinations identifiées en (b).

À la fin de cette première étape, une figure semblable à la figure 4.1 devrait être obtenue.

Étape (2): Détermination de l'indice de performance:

$$INF = \frac{\sum_{\text{tous les } i} RD_i - \sum_{\text{tous les } i} MD_i}{\sum_{\text{tous les } i} RD_i} \quad (4.1)$$

où  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  ( $n$  = nombre de points d'origine),  
 $RD_i$  = nombre minimal de directions requises du point  
d'origine  $i$  à tous les points de destination  
possibles,  
 $MD_i$  = nombre de mauvaises\* directions montrées au  
point d'origine  $i$  à tous les points de  
destination possibles.

\* Les mauvaises directions sont définies comme étant des directions requises pouvant être interprétées de plus d'une façon.

Cet exercice est relativement simple et, lorsqu'utilisé dans l'évaluation de systèmes existants, l'indice calculé peut servir à dépister les lacunes dans le système. Employé pour la planification, l'indice servira à opter pour la configuration architecturale qui améliorera le système d'informations directionnelles, favorisant ainsi le futur passager dans ses déplacements à l'intérieur de l'aérogare.

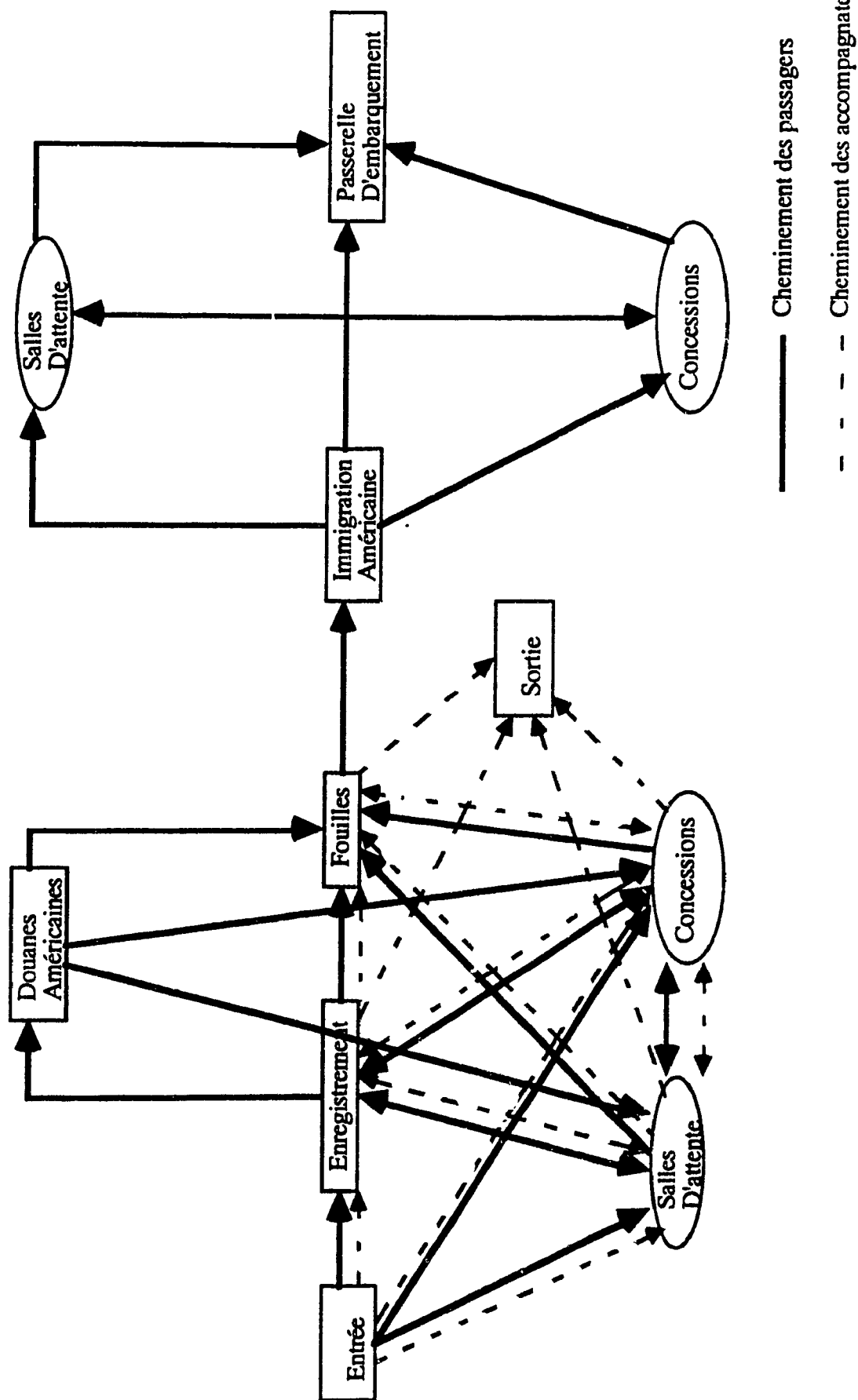


Figure 4.1 Procéssus Schématique d'Embarquement à Dorval.  
(secteur transfrontalier)



## 4.2 TEMPS D'ATTENTE

Dans un aéroport, où toutes les activités sont planifiées, le facteur temps en est un de base, puisque les activités du côté air reliées à l'opération des avions dépendent principalement des activités du processus d'embarquement ayant lieu du côté ville. Ce processus englobe plusieurs activités reliées et décalées dans le temps. En reprenant les deux processus (embarquement et débarquement), Yagar a analysé les retards encourus par les passagers en fonction des temps libres (ou d'attente) (62). Il serait possible d'évaluer la performance des éléments de l'aérogare en termes de retards; cependant, l'interprétation des résultats ne saurait être évidente, c'est-à-dire que si les retards sont négatifs (dans le cas où le passager n'a pas assez de temps pour terminer le processus sans que le départ du vol soit reporté), les résultats ne peuvent en expliquer clairement la cause (lenteur des activités de traitement ou passager arrivant en retard).

Le temps d'attente s'avère plus utile comme mesure et son rôle dans l'évaluation de la performance (capacité) des activités de traitement peut varier selon divers facteurs comme la nature de l'activité. Tel qu'il a été mentionné précédemment, Condom (53) a trouvé que le temps d'attente, particulièrement aux comptoirs d'enregistrement, était important aux yeux des passagers. De plus, ce temps d'attente sera perçu différemment selon le temps total passé dans l'aérogare; en effet, si le passager arrive bien en avance du départ de son vol, le temps d'attente, par exemple à l'enregistrement, semble moins long que si il ou elle arrive au temps suggéré par le transporteur aérien, ou plus tard.

Or, l'évaluation de la performance peut se faire soit en terme de temps total passé dans l'aérogare, ou en terme de temps requis pour le traitement. L'indice de performance du temps d'attente (TEMPS) pour une activité quelconque est exprimé en une des deux façons suivantes:

$$\text{TEMPS}_i = \frac{\text{temps moyen d'attente par passager à l'activité } i}{\text{temps total moyen qu'un passager passe dans l'aérogare}} \quad (4.2 \text{ a})$$

$$\text{TEMPS}_i = \frac{\text{temps moyen de traitement à l'activité } i}{\text{temps d'attente moyen par passager à l'activité } i} \quad (4.2 \text{ b})$$

La moyenne de tous les  $\text{TEMPS}_i$  sur toutes les activités donne l'impression globale de la performance des activités de traitement à l'aéroport. Dans la planification, un tel indice complète bien la modélisation mathématique ou la simulation de ces activités.

### 4.3 DISPONIBILITÉ DES SIEGES

Il a été vu précédemment que l'utilisation de l'espace doit être optimisée. L'allocation des sièges, étant fonction de l'espace, doit tenir compte non seulement des coûts associés à l'espace non rentable destiné aux sièges, mais aussi aux besoins et confort des passagers. La planification du nombre de sièges à allouer dans une aire donnée est une tâche difficile en raison de la variation dans les normes utilisées par les différents groupes de gestion des aéroports. Le tableau 4.1 montre ces différences.

Tableau 4.1 Normes d'Espace pour les Salles de Départ. (Réf. 61)

Source	Superficie / Occupant (m <sup>2</sup> )
FAA	1.8
Paulin & Horonjeff	1.4
Transports Canada	1.0 (debout), 1.5 (assis)
Ashford	0.35 - 1.1
Hart	1.1 (moyenne debout et assis), 1.4 (assis)
Hamzawi	0.6 - 1.4

Les groupes de gestion des aéroports comme Transport Canada suggèrent que le nombre de sièges à allouer dans les différentes aires d'attente soit évalué selon le nombre

total de passagers. Par exemple, aux salles de départ, on offre des sièges pour 50% du facteur de charge (load factor) du plus gros avion à être servi à une porte d'embarquement (16). Toutefois, cette méthode ne considère pas le profil d'arrivée des passagers à la salle, ni ne reflète la capacité de cette aire.

Wirasinghe et Sheeta (63) ont tenu compte de ces deux aspects en proposant une méthode de détermination du nombre de sièges optimal en relation avec le coût de provision des sièges et certaines pénalités pour passagers debout. Toutefois, le besoin d'assigner des coûts rend la procédure complexe lorsque le profil des passagers, donc les perceptions de l'inconfort associées au fait de rester debout, varie au fil du jour.

On propose plutôt un indice de performance, employé dans la planification (lors de laquelle un indice cible peut servir de paramètre de base) ou dans l'évaluation. Cette mesure de performance est définie en fonction de la disponibilité des sièges en période de pointe et s'exprime ainsi:

$$\text{SIEGES}_i = \frac{\text{nombre total de sièges disponible dans la salle } i}{\text{charge horaire de pax en période de pointe de la salle } i}$$

où  $i = 1, 2, 3, \dots, n$  (nombre de salles d'attente).

La moyenne des  $\text{SIEGES}_i$  sur le nombre total de salles d'attente donne un indice moyen de la performance des salles de l'aérogare.

Dans le cas où les salles sont spécifiquement dédiées à des vols de passagers dont le profil est constant et avec lesquels la pénalité est facilement déterminée, il serait possible d'utiliser la méthode de Wirasinghe et Sheeta (63) pour ensuite trouver le nouvel indice défini comme suit:

$$\text{SIEGES}_i = \frac{\text{nombre de sièges disponibles dans la salle } i}{\text{nombre optimal de sièges}}$$

#### 4.4 CONCESSIONS

Par l'entremise des passagers, les concessions génèrent en général les revenus les plus significatifs d'un aéroport. Puisque les groupes de gestion des aéroports exercent un bon contrôle sur les concessions, plusieurs efforts sont mis sur l'optimisation de la rentabilité de ceux-ci. Des enquêtes par sondage portant sur la variété et autres caractéristiques des concessions ont été exécutées afin d'établir les combinaisons de concessions les plus rentables. Cependant, les méthodes de planification employées ne sont pas nécessairement les meilleures; surtout orientées vers l'aspect marketing, elles répondent difficilement aux besoins réels des usagers.

La plupart des problèmes auxquels font face les concessionnaires sont associés à une mauvaise visibilité et une médiocre accessibilité de leurs concessions. L'emplacement d'une concession dépend non seulement de ces deux facteurs, mais aussi de l'achalandage des piétons (donc en quelque sorte de la part de marché vis-à-vis des autres concessions).

Peu de littérature existe sur la planification des concessions dans les aéroports. Hasan et Braaksma se sont penchés sur le sujet et ont suggéré des méthodes d'analyse et d'évaluation des concessions portant sur l'utilisation de modèles de prédiction des revenus de concessions ayant pour base les volumes totaux annuels de passagers, la mesure de l'accessibilité et de visibilité (originellement proposée par Braaksma et Cook (60)) et les parts de marché (64). La méthode qui vise à mesurer l'accessibilité et la visibilité par la perception de la distance à marcher comprend cependant un certain degré de subjectivité.

Plutôt, il semble mieux approprié d'employer un indice basé sur les distances réelles à marcher ainsi que sur les débits de passagers susceptibles de visiter les concessions. L'indice d'accessibilité de la concession se mesure en terme de distance minimale que les passagers doivent marcher pour se rendre d'une activité de traitement à une autre par rapport à la distance supplémentaire que les passagers, utilisant les

concessions, doivent marcher. L'indice représente donc la portion du déplacement minimal par rapport au déplacement total que génèrent les concessions. Ainsi, plus l'indice se rapproche de l'unité, plus le déplacement minimal se rapproche du déplacement total.

La part de marché d'une concession (exprimée en volumes de passagers la visitant par rapport au volume total de passagers visitant les concessions) est aussi considérée dans l'indice d'accessibilité globale d'une aérogare puisque l'accessibilité d'une concession bien achalandée aura plus de poids qu'une autre qui l'est un peu moins. Cet indice est mesuré de façon objective et peut servir autant dans la planification des installations d'une aérogare que lors de l'évaluation. Il se définit comme étant:

$$A_T = \frac{V \sum_{\text{tous les } i} d_{ik}}{\sum_{\text{tous les } i} A_i}$$

$$A_i = \sum_{\text{tous les } j} d_{ij} * v_j$$

où:  $A_i$  = accessibilité de l'activité  $i$  ( $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ),

$d_{ij}$  = distance à marcher de l'activité  $i$  à la concession  $j$  ( $j = 1, 2, 3, \dots, m$ ),

$v_j$  = nombre de passagers utilisant la concession  $j$  pendant une période donnée,

$d_{ik}$  = distance à marcher de l'activité  $i$  à l'activité  $k$  suivante ( $k = i + 1$  et lorsque  $i = n$ ,  $k = 1$ ),

$V = \sum v_j$  (sur tous les  $j$ ).

La considération de la distance à marcher tient compte de l'accessibilité, tandis que le nombre de passagers utilisant la concession est représentatif de l'importance de celle-ci par rapport aux autres.

L'aéroport de Dorval est employé une fois de plus à titre d'exemple pour démontrer l'utilité de l'indice d'accessibilité. Tel qu'il a été présenté au second chapitre, Dorval dessert les secteurs transfrontalier et domestique. Son aérogare se divise en deux parties symétriques pour traiter les passagers des deux secteurs. D'un côté de l'aire principale (zone publique) comme de l'autre, on y retrouve les activités d'enregistrement, les postes de fouille, les aires d'attente ainsi que les concessions. Autrement dit, plusieurs éléments incluant les concessions sont dédoublés.

L'indice d'accessibilité pour chacun des secteurs est calculé. Pour l'activité d'enregistrement, un seul transporteur (qui dessert les deux secteurs) est considéré; c'est-à-dire que la distance  $d_{jk}$  représentant la distance entre le point d'entrée dans l'aérogare et les installations d'enregistrement ne s'applique ici qu'à un transporteur.

Une moyenne des distances pour toutes les installations de même nature (exemple: comptoirs d'enregistrement de tous les transporteurs) peut aussi être adéquate dans le calcul de l'indice. C'est le motif de son utilisation qui en justifie la pertinence. D'ailleurs, une distance moyenne entre tous les points d'entrée et les installations du transporteur est employée dans cet exemple. Puisque nous sommes intéressés à la comparaison de l'accessibilité des concessions pour les deux secteurs, les multiples points d'entrée dans l'aérogare peuvent être représentés par un point d'entrée unique. La moyenne des distances entre les divers points (activité 1) et les comptoirs d'enregistrement (activité 2) reflète la distance de déplacement entre les deux premières activités.

Les volumes des usagers des concessions proviennent des résultats d'études effectuées par Transports Canada à Dorval. Ainsi, en appliquant les distances et les volumes à l'expression, on obtient des indices de 0.53 pour le secteur domestique et de 0.61 pour le secteur transfrontalier. Autrement dit, pour le secteur domestique, le cheminement minimal qu'un passager parcourt s'il ne se rend pas aux concessions

représente 53% du cheminement total qu'il parcourerait dans le cas contraire (visite des concessions). Pour le secteur transfrontalier, le cheminement minimal en représente 61%. Les tableaux 4.2 et 4.3 présentent en détails les intrants et calculs. Il semble donc que concernant ce transporteur, l'emplacement général de l'ensemble des concessions du secteur transfrontalier soit meilleur comparativement à celui des concessions du secteur domestique, quoique la différence soit mineure.

#### 4.5 COMMODITÉ ET AMBIANCE INTÉRIEURE

De tous les facteurs proposés dans cette étude pour l'évaluation de la qualité de service des aéroports, la commodité et l'ambiance intérieure sont les plus difficiles à mesurer. La complexité des caractéristiques les définissant et l'étendue des différentes perceptions que peuvent avoir les usagers envers ces facteurs impliqueraient le développement de longues procédures d'évaluation et l'utilisation d'une grande disponibilité de ressources. La présente recherche ne s'est pas engagée dans une telle tâche, mais l'ampleur des sujets à traiter relativement à ces facteurs ouvre certes des portes pour des recherches futures.

#### 4.6 PROPOSITION D'UNE MÉTHODE D'ÉVALUATION GLOBALE DE LA QUALITÉ DE SERVICE

L'information obtenue par les enquêtes ne permet pas de connaître l'interaction des variables entre elles. En supposant alors que ces variables soient également significatives, l'estimation globale de la Q. de S. d'un aéroport peut se faire en additionnant chacun des indices correspondants.







Tout d'abord, pour chaque indice, des niveaux peuvent être définis. On sait que l'indice INF peut prendre des valeurs de 0 à 1, où 0 indique une très mauvaise performance et 1 indique l'opposé. L'indice SIÈGES se comporte pareillement, c'est-à-dire qu'une valeur égale à 1 signifie une performance excellente. Quant à l'indice TEMPS (selon l'équation 4.2a), une valeur proche de 0 est recherchée. Pour la variable d'accessibilité, l'indice peut prendre des valeurs de 0 à 1. Plus l'indice se rapproche de 1, meilleure est l'accessibilité.

Trois niveaux, bon, tolérable ou mauvais, peuvent être définis sur l'étendue des valeurs que ces indices peuvent prendre. Il est à noter qu'une analyse multi-factorielle sur ces variables peut réduire considérablement le niveau de subjectivité associé à la méthode d'évaluation globale de la Q. de S. ainsi qu'à la détermination des niveaux pour chaque indice. Des recherches ultérieures pourraient justifier ces dernières hypothèses.

#### 4.7 SYNTHÈSE

Dans ce chapitre sont proposées des expressions mathématiques associées aux variables identifiées au chapitre trois comme ayant le plus d'influence sur la Q. de S. d'une aérogare. L'indice d'accessibilité des concessions est appliqué au cas de l'aéroport de Dorval. Une comparaison de l'accessibilité des concessions des deux secteurs d'activité de l'aéroport pour un transporteur spécifique fait l'objet de l'exemple.

L'indice peut s'appliquer à diverses autres fins, comme pour déterminer le transporteur pour qui les concessions sont les mieux localisées, fixer l'indice global pour l'ensemble des installations d'une aérogare, ou évaluer l'incidence du déplacement d'une ou plusieurs concessions.

## CHAPITRE 5.0 CONCLUSION

La recherche dans le domaine du transport aérien est encore très jeune. La soudaine croissance de la demande est la cause de l'apparition des problèmes de capacité auxquels font face plusieurs aéroports. Les contraintes politiques, économiques et environnementales restreignent souvent leur expansion. Par conséquent, ce n'est que récemment que les chercheurs se sont dirigés vers ce champ d'activités.

Les premières études portaient surtout sur le parallèle piétons-passagers. Celles-ci reprenaient les caractéristiques de base des piétons et les adaptaient au nouvel environnement pour passagers. Les premières études portaient surtout sur le parallèle piétons-passagers. Elles identifiaient les caractéristiques de base des piétons et les adaptaient au nouvel environnement pour passagers. Par exemple, la structure à six niveaux de service des critères spatiaux pour différents sous-systèmes de l'aérogare, développée par Transports Canada en 1976, est fondée selon les normes développées par Fruin pour les piétons en milieux urbains.

Depuis, plusieurs chercheurs se sont penchés sur les méthodes de conception et de planification d'aérogares. L'amélioration et le raffinement des méthodes proviennent de l'acquisition de l'information sur le comportement des passagers et les caractéristiques opérationnelles des diverses installations de l'aérogare.

Les méthodes de détermination des besoins spatiaux et d'évaluation du service sont critiquées et les problèmes fondamentaux sont exposés. Ces méthodes sont trop généralisées. La détermination des besoins spatiaux se fait selon des volumes prévus de passagers en période de pointe et des critères d'espace par occupant. Les autres espaces, réservés aux bureaux administratifs et autres, sont ensuite ajoutés pour donner l'espace global requis.

Le fait de ne pas tenir compte des endroits problématiques et des situations particulières, comme les aires d'attente aux comptoirs d'enregistrement où interagissent passagers stationnaires et en mouvement, occasionne dans certains cas des pertes majeures de capacité et entraîne souvent une reconstruction ou une expansion de l'aérogare tout entière. L'aéroport de Paris/Roissy en est un exemple parfait alors que la congestion des passagers devant les comptoirs d'enregistrement dans l'aérogare d'Air France a forcé la construction d'une nouvelle aérogare beaucoup plus tôt que prévu.

L'interaction des passagers stationnaires et en mouvement est traité dans la première partie de cette étude. Suite à une série d'observations effectuées à l'aéroport de Montréal/Dorval, des relations vitesse de marche-densité (incluant les deux groupes de passagers) sont développées. L'aire étudiée correspond à celle devant les comptoirs d'enregistrement, endroit où le potentiel de congestion est élevé. La relation exponentielle selon le modèle de Greenberg est reconnue comme étant celle expliquant le mieux les observations. D'après les données agrégées, qui permettent une comparaison avec les relations déjà connues, la relation linéaire à régime continu est considérée. Les différences entre deux relations connues et celle de Montréal sont identifiées et expliquées. Elles sont attribuables surtout au comportement des personnes, à l'espace total qu'elles occupent et à la manière qu'elles ont de se déplacer.

Une comparaison entre les structures de niveaux de service proposées par Fruin, Transports Canada et l'IATA est aussi présentée. La structure et les niveaux de service de l'IATA semblent mieux refléter le milieu aéroportuaire actuel. Cette structure est d'ailleurs employée dans la méthode de planification des besoins spatiaux devant les comptoirs d'enregistrement, proposée dans ce document.

La méthode détermine les besoins spatiaux selon divers facteurs tels proportions de passagers stationnaires par rapport aux passagers en mouvement, la proportion de

passagers, stationnaires ou en mouvement, avec chariot à bagages et la superficie minimale par occupant (stationnaire ou en mouvement, avec ou sans chariot à bagages). Dans l'exemple numérique, les superficies minimales sont estimées selon l'étude de Davis & Braaksma, qui portait sur l'ajustement des débits de passagers avec chariots à bagages.

La détermination des besoins spatiaux constitue, certes, une étape importante dans le processus de planification des aéroports. Toutefois, plusieurs agences responsables de la gestion d'aéroports orientent leurs objectifs vers la qualité de service offert aux usagers de leurs installations.

La deuxième partie de cette recherche traite des facteurs à inclure dans l'évaluation de la qualité du service offert dans une aéroport. L'identification des facteurs les plus influençant sur la qualité du service permet aux groupes de gestion de mobiliser leurs efforts sur les éléments d'importance seulement. Dans la littérature, on favorise surtout l'inclusion de facteurs qualitatifs et quantitatifs. Cependant, les recherches s'arrêtent à ce niveau et le développement de nouvelles méthodes d'évaluation du service progresse lentement.

Dans la présente recherche, une analyse détaillée sur la perception des passagers vis-à-vis de ces facteurs est présentée. Les sondages effectués à l'aéroport de Dorval visaient à prendre connaissance de l'impression qu'ont les passagers en partance de l'aéroport sur les facteurs influençant la qualité de service.

Selon une classification des activités et des systèmes composant le processus d'embarquement des passagers, les résultats des sondages révèlent que l'information visuelle et auditive est importante pour les activités de circulation (systèmes d'accès comme les corridors), les salles d'attente doivent avoir un nombre suffisant de sièges et que le facteur temps occupe le premier rang en importance lorsqu'il s'agit des activités de traitement.

Quatre critères (motif de déplacement, sexe, groupe d'âge et temps passé dans l'aérogare) ont servi à l'établissement des différences de perception par les groupes de passagers. Il a été trouvé, par exemple, que les voyageurs pour affaires ont des besoins très différents de ceux pour loisirs, alors que lorsque les passagers sont regroupés selon le temps qu'ils passent dans l'aérogare, aucune différence significative dans la perception n'est remarquée.

L'interaction entre ces variables fixes (ou critères) dans les probabilités de réponses est aussi abordée. L'âge semble être une cause majeure des différences entre les perceptions et ce, pour chaque catégorie d'éléments de l'aérogare.

Dans l'ensemble, les six facteurs suivants se démarquent du reste des facteurs quantitatifs et qualitatifs qui influencent la qualité de service de l'aérogare de Dorval (Il est à noter que cette combinaison de facteurs peut varier selon les types de population retrouvés dans les diverses aéroports):

- 1- Information,
- 2- Temps d'attente,
- 3- Commodité,
- 4- Disponibilité des sièges,
- 5- Concessions et
- 6- Ambiance Intérieure.

Dans la dernière partie de la recherche, des indices de performance sont développés pour quatre des six facteurs. D'après un parallèle effectué entre la gestion des systèmes de transport en commun et celle des aéroports, l'usage d'indices de performance facilite le processus d'évaluation de la qualité de service.

Ces indices ne rendent pas seulement compte du niveau de la qualité, mais peuvent aussi servir à son amélioration. Par exemple, la procédure d'établissement de la signalisation intérieure qui est proposée permet, d'une part, d'évaluer le service offert par les installations déjà existantes et, d'autre part, d'examiner des scénarios en vue d'y apporter des améliorations.

L'indice d'accessibilité des concessions est appliqué au cas de l'aéroport de Dorval. Dans cet exemple, l'indice sert à la comparaison de l'accessibilité des concessions des deux secteurs d'activité, soit transfrontalier et domestique. On a vu précédemment que l'indice peut avoir d'autres applications.

Bien que le transport aérien soit relativement récent comparativement aux autres modes de transport, les notions de niveau et qualité de service sont encore jeunes. À ce jour, ces notions sont toujours ambiguës et complexes. Le présent document élucide ces notions en les appliquant à des cas spécifiques.

De plus, tout au long du texte, certaines idées de projets, connexes au sujet traité, furent exposées. Les paragraphes qui suivent rassemblent ces idées et les regroupent en projets de recherche futurs.

#### A: ENQUÊTE SUR LES ACTIVITÉS DU PROCESSUS DE DÉBARQUEMENT.

Dans son ensemble, la recherche traite des activités reliées au processus d'embarquement. Des problèmes semblables existent pour les activités du processus de débarquement. Les salles de collecte des bagages sont des endroits où l'on retrouve les deux types de passagers, en mouvement et stationnaires (également aux comptoirs d'enregistrement pour le processus d'embarquement). L'évaluation de la qualité de service requiert la considération de facteurs différents de ceux déterminés dans cette recherche. Des sondages à cette fin seraient à effectuer.

**B: PROCÉDURE D'ÉVALUATION GLOBALE DE LA QUALITÉ DE SERVICE.**

La procédure d'évaluation globale suggérée à la fin de la recherche peut être validée par une application réelle dans un aéroport. Les indices peuvent être employés et les résultats comparés à ceux provenant de sondages ayant recueilli la perception du service (et non des facteurs l'influençant) par les passagers.

**C: QUALITÉ DE SERVICE PERÇUE PAR LES DIVERS GROUPES  
UTILISATEURS DE L'AÉROGARE.**

Finalement, l'aspect de la qualité de service et de son évaluation tenait compte, dans cette recherche, de la perception du passager. Il serait tout aussi intéressant d'étudier celle des autres clients d'un aéroport (comme transporteurs aériens et concessionnaires) et puis celle du groupe gestionnaire afin de pouvoir réellement comparer les besoins de chacun.



## LISTE DES RÉFÉRENCES

1. Mumayiz, S.A., Development of Airport Terminal Design Concepts - A New Perspective, Transportation Planning and Technology, Vol.13, 1989, pp.303-320.
2. Apogee Research, A Strategic Plan for the Nation's Airport System, prepared for Federal Aviation Administration, January, 1990.
3. Committee on Transportation to and from Airports of the Technical Council on Urban transportation, Survey of Ground-Access Problems at Airports, Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol.95, No.TE1, February, 1969, pp.115-142.
4. Wohl, Martin, An Uncommon View of the Ground Transportation Problem, Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol.95, No.TE1, February, 1969, pp.143-166.
5. de Neufville, R. and E. Mierzejewski, Airport Access Cost-Effectiveness Analysis, Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol.98, No.TE3, August, 1972, pp.663-678.
6. Harvey, Greig, Study of Airport Access Mode Choice, Journal of Transportation Engineering, Vol 112, No.5, September, 1986, pp.525-545.
7. Committee on Terminal Facilities, Transportation Within Airports, Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol.95, No.TE2, May, 1969, pp.259-266.
8. Klingen, L.G., Methods to Increase Landside Capacity at Existing Airports, Transportation Research Board, Special Report #159, Washington D.C., 1975, pp.249-255.
9. Federal Aviation Administration, SIMMOD, The Airport and Airspace Simulation Model - Data Input Manual, Reference Manual, User's Manual, Release 1.0, September, 1989.
10. Airport Landside Planning System Methodology Summary Description, JKH Mobility Services Inc., Houston, Texas, June, 1990.

11. Khan, A.M., The Role of Microcomputers in Airport Planning and Design, Proceedings of the 3rd. National Conference on Microcomputers in Civil Engineering. Orlando, Florida, November, 1985, pp.179-183.
12. Ceric, V., Simulation Modelling Study for Design of the Airport Terminal Building, Transportation Planning and Technology, Vol.13, 1988, pp.43-56.
13. McCabe, L. and T. Carberry, Simulation Methods for Airport Facilities, Transportation Research Board, Special Report #159, Washington D.C., 1975, pp.112-122.
14. Cheng, C.Y. and P. Gilmour, Computer Simulated Passenger Service Levels for Airport Terminals, Airport Forum, No.4, 1980, pp.106-107.
15. Federal Aviation Administration, The Apron and Terminal Planning Report, Washington D.C., FAA-RD-75-191, March, 1976.
16. Transport Canada, Air Terminal Building - Enplaning Passenger Facilities, Ottawa Canada, AK-62-01, September, 1984.
17. International Air Transportation Association, Air Terminals Reference Manual, Montreal, Canada, 7ed., 1989.
18. Vulliany, John, Airports - Passenger & Cargo Terminals, The Architect's Handbook: Planning, 10 ed., E.D. Mills Butterworth edition, 1985, pp.149-181.
19. International Civil Aviation Organization, Airport Planning Manual: Part 1 Master Planning, 2 ed., DOC 9184-AN/902, 1987.
20. Transport Canada, A Discussion Paper on Level of Service Definition and Methodology for Calculating Airport Capacity, Technical Report #TP2027, April, 1979.
21. National Research Council, Measuring Airport Landside Capacity, Special Report #215, Transportation Research Board, Washington D.C., 1987.

22. Omer, K.F. and A.M. Khan, Airport Landside Level of Service Estimation: Utility Theoretic Approach, Transportation Research Record #1199, Washington D.C., 1988, pp.33-40.
23. de Neufville, R. and M. Grillo, Design of Pedestrian Space in Airport Terminals, Transportation Engineering Journal of ASCE, Vol.108, No. TE1, January, 1982, pp.87-102.
24. Navin, F.P. and R.J. Wheeler, Pedestrian Flow Characteristics, Traffic Engineering, June, 1969, pp.30-36.
25. Hoel, L.A., Pedestrian Travel Rates in central Business Districts, Traffic Engineering, Vol.38, No.4, January, 1968.
26. Older, S.J., Movement of Pedestrians on Footways in Shopping Streets, Traffic Engineering & Control, Vol.10, No.4, 1968, pp.160-163.
27. Pushkarev, B. and J.M. Zupan, Capacity of Walkways, Transportation Research Record #588, 1975, pp.1-15.
28. Fruin, J.J., Pedestrian Planning and Design, Metropolitan Association of Urban Designer and Environmental Planners Inc., New York, 1971.
29. Highway Research Board, Highway Capacity Manual, Special report#87, Washington D.C., 1965.
30. Polus, A. et al., Pedestrian Flow and Level of Service, Journal of Transportation Engineering, Vol.109, No.1, January, 1983, pp.46-56.
31. Seneviratne, P.N., Pedestrian Movement in central Areas, Ph.D. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Calgary, Alberta, 1983.
32. Seneviratne, P.N. and J.F. Morrall, Level of Service on Pedestrian Facilities, Transportation Quarterly, Vol.39, No.1, January, 1985, pp.109-123.
33. Mori, M. and H. Tsukaguchi, A New Method for Evaluation of Levels of Service in Pedestrian Facilities, Transportation Research Part A, Vol.21A, No.3, 1987, pp.223-234.

34. Davis, D.G. and J.P. Braaksma, Level of Service Standards for Platooning Pedestrians in Transportation Terminals, ITE Journal, April, 1987, pp.31-35.
35. Davis, D.G. and J.P. Braaksma, Adjusting for Luggage-Laden Pedestrians in Airport Terminals, Transportation Research Part A, Vol.22A, No.5, 1988, pp.375-388.
36. Hall, E.T., The Hidden Dimension, Doubleday and Company Inc., Garden City, New York, 1966.
37. Ashford, N., Level of Service Design Concept for Airport Passenger Terminals - A European View, Transportation Planning and Technology, Vol.12, 1988, pp.5-21.
38. Bennetts, D. et al., Stochastic Modelling of Airport Processing, TT7509, Department of Transportation, Loughborough University, England, July, 1975.
39. Ashford, N. et al., Passenger Behavior and Design of Airport Terminals, Transportation Research Record #588, Washington D.C., 1976, pp.18-26.
40. Bennetts, D. et al., Survey Analysis of Airport Terminal Passenger Processing, TT7502, Department of Transportation Technology, Loughborough University, England, April, 1975.
41. Totic, V., Airport Passenger Terminal Operations Analysis and Modelling, Technical University of Denmark, Lyngby, June, 1988, (Unpublished Report).
42. Hamzawi, S.G. et al., Airport Landside Capacity Evaluation: An Airport Graphics Display System for Terminal Flow Simulation. (Unpublished Report).
43. Hamzawi, S.G. (Transport Canada), Techniques of Airport Terminal Planning in CATA - An Airport Capacity Utilization Model, Second Canadian Seminar on Systems Theory for the Civil Engineer, University of Calgary, Calgary, Canada, May, 1984.
44. Transport Canada, Airport Traffic Analysis Model (ATAM), User's Guide, TP3935.

45. AACC/IATA, Guidelines for Airport Capacity/Demand Management, Second ed., June, 1990.
46. Weston, J.G. and J. Marshall, Pedestrian Movement in Crossing Flows, Transportation Planning and Technology, Vol.1, 1973, pp.49-54.
47. Drake, J.S. et al., A Statistical Analysis of Speed Density Hypotheses, Highway Research Record #154, Washington D.C., 1967, pp.53-87.
48. Quandt, R.E., Tests of the Hypothesis that a Linear Regression System Obeys Two Separate Regimes, Journal of the American Statistical Association, Vol.25, 1960, pp.324-330.
49. Institute of Transportation Engineering, Transportation Engineering Handbook, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.
50. Weinstein, Ira, Surveys Provide Passengers' View of Your Airport, Airport Services Management, December, 1987, pp.42-44.
51. Mumayiz, S.A., A Methodology for Planning and Operations Management of Airport Passenger terminals: A Capacity/Level of Service Approach, Ph.D. Thesis, Department of Transport Technology, Loughborough University of Technology, Loughborough, England, 1985.
52. Heathington, K.W. and D.H. Jones, Identification of Levels of Service and Capacity of Airport Landside Elements, Transportation Research Board, Special Report #159, Washington D.C., 1975, pp.72-91.
53. Condom, Pierre, Thirty Thousand Passengers State Their Preferences, Interavia, Vol.11, 1987, pp.1177-1179.
54. SAS Institute Inc., SAS User's Guide: Statistics, Version 5 Edition, Cary, N.C.: SAS Institute Inc., 1985, 956 pp.
55. Fielding, G.J., R.E. Glauthier and C.A. Lave, Performance Indicators for Transit Management, Transportation, Vol.7, 1978, pp.365-379.
56. Dajani, J.S. and G. Gilbert, Measuring the Performance of Transit Systems, Transportation Planning and Technology, Vol.4, 1978, pp.97-103.

57. ITE Technical Council Committee 6Y-1, Levels of Service Provided by Urban Transportation Systems, Traffic Engineering, January, 1976, pp.30-35.
58. Silcock, D.T., Measures of Operational Performance for Urban Bus Services, Traffic Engineering & Control, Vol.22, No.12, December, 1981, pp.645-648.
59. Beck, R., Designing for Passenger Information Needs in Subway Systems, ITE Journal, January, 1986, pp.17-24.
60. Braaksma, J.P. and W.J. Cook, Human Orientation in Transportation Terminals, Transportation Engineering Journal, Vol.106, No.TE2, March, 1980, pp.189-203.
61. International Civil Aviation Organization, International Signs to Provide Guidance to Persons at Airports, Document #9430-C/1080.
62. Yagar, Sam, Analysis of Passenger Delays at Airport terminals, Transportation Engineering Journal, Vol.99, No.4, November, 1973, pp.909-921.
63. Wirasinghe, S.C. and M. Sheehata, Departure Lounge Sizing and Optimal Seating Capacity for a Given Aircraft/Flight Mix - (i) Single Gate, (ii) Several Gates, Transportation Planning and Technology, Vol.13, 1988, pp.57-71.
64. Hasan, N. and J.P.Braaksma, Planning of Concessions in Airport Terminals, Journal of Transportation Engineering, Vol.112, No.2, March, 1986, pp.145-162.